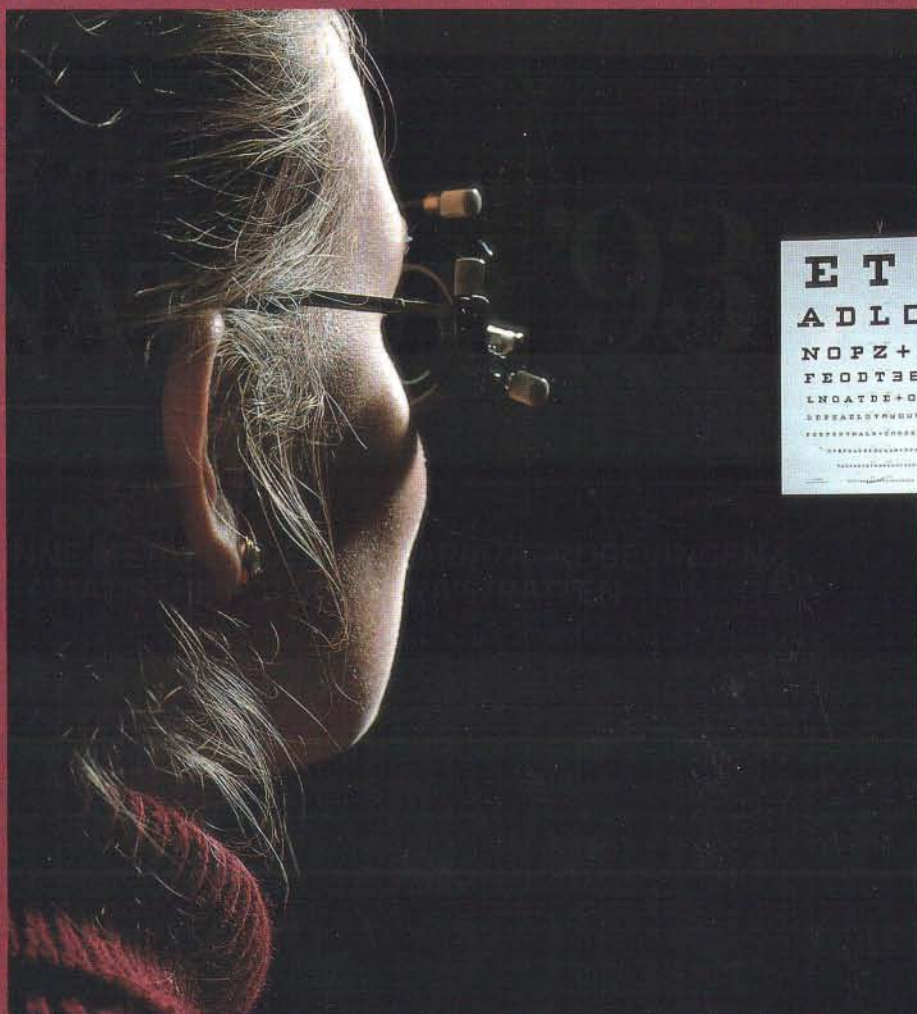


2

61^e jaargang

NATUUR '93 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



HET OOG

DUNNE METAALLAGEN/MALARIA/AARDBEVINGEN/
AUTOMATISCHE FOTOCAMERA'S/RATTEN

WEIZMANN INSTITUUT
VAN
WETENSCHAPPEN

**INTERNATIONAAL
WETENSCHAPPELIJK
VAKANTIEKAMP**

7 JULI - 6 AUGUSTUS
1993

Het Internationaal Wetenschappelijk Vakantiekamp van het Weizmann Instituut biedt jaarlijks aan een beperkt aantal eindexaminandi de gelegenheid, gedurende de zomervakantie enige tijd in internationaal verband aan wetenschappelijk onderzoek te wijden. Hiertoe wordt voor hen door medewerkers van het Weizmann Instituut een programma georganiseerd bestaande uit colleges, praktisch werk en excursies in Israël.

Het vakantiekamp is bestemd voor
Nederlandse eindexaminandi VWO
van 17-18 jaar.

Kandidaten dienen een uitgesproken belangstelling te hebben voor exakte wetenschappen, de Engelse taal zeer goed te beheersen en goed te kunnen samenwerken. Een bijdrage van fl. 1500,-, incl. de reiskosten, is voor rekening van de bursaal.

Aanmeldingsformulieren zijn tot
13 maart 1993 verkrijgbaar bij het
Nederlands Comité van het Weizmann
Instituut van Wetenschappen,
Postbus 71043,
1008 BA Amsterdam.

DE AARDE IS ONS ALLER BELANG!

geotechnica



Internationale vakbeurs
en congres
voor geotechniek

Keulen, 5 t/m 8 mei
1993

Het onderzoeken van de planeet aarde en het behoud van haar geo-bio-atmosfeer eisen technieken, die de actuele en toekomstige problemen kunnen oplossen.

De geotechnica is het internationale platform voor de noodzakelijke duidelijkheid en de praktische netwerken en synergieën.

Zij presenteert de combinatie van wetenschap en techniek en economie en geopolitiek. Alleen door deze onderlinge samenwerking kunnen wereldwijde problemen in de toekomst worden opgelost.

Gelijktijdig met de vakbeurs vindt het Geotechnicacongres plaats. Hier geeft men informatie over de nieuwste wetenschappelijke en technische ontwikkelingen. Onder het hoofdtHEMA: „De gebruikte aarde-ecosystemen, grondstoffen, uitdaging“ zullen 120 sprekers uit 16 landen nieuwe concepten, procédés en rapporten behandelen over de instandhouding van de aarde als uitdaging aan wetenschap en techniek.

Evenals in 1991 is de Alfred Wegener Stichting de organisator van het congres.

geotechnica '93

Een concept dat aanslaat

■ 20.000 m² beursoppervlakte ■ 500 exposanten
■ 20.000 vakbezoekers

NEDERLAND: F. van Dam, KölnMesse, Nederlands-Duitse
Kamer van Koophandel, Postbus 80533, 2508 GM Den Haag,
Tel. 070-36142 51, Telex 32 138, Telefax 070-363 22 18

Bon

Wij zoeken om toezending van:

- ☐ aanmeldingsformulieren voor exposanten geotechnica
- ☐ aanmeldingsformulieren voor het congres geotechnica
- ☐ algemene informatie

Afzender: _____

Adres: _____

Plaats: _____

Köln Messe

NATUUR '93 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 12,25 of 240 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

Zien is voor de meeste mensen zo vanzelfsprekend, dat ze zelden stilstaan bij de zintuigen die het mogelijk maken: de ogen. Zelfs als er wat aan de ogen mankeert, valt dat vaak pas heel laat op. Vanaf pagina 90 nemen dr Otto en drs van der Werf de ogen onder de loep. Lees mee, bekijk hoe ze werken en zie wat er mis kan gaan. (foto: Interuniversitair Oogheelkundig Instituut, Amsterdam)

Hoofdredactie: Th.J.M. Martens, Dr G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs G.F.M. Hendrickx, Drs T.J. Kortbeek, Drs E.J. Vermeulen.

Secretariaat: Drs L.P.J. Slangen.

Onderwijscontacten: W.H.P. Geerits, tel.: 0(0-31)4759-1305.

Redactiemedewerkers: Drs J. Bouma, Dr W.A. Casparie, Drs G.P.Th. Kloeg, A. de Kool, Prof dr H. Lauwerier, Drs J.C.J. Masschelein, Ir S. Rozendaal, Dr J. Willems.

Redactie-adviesraad: Prof dr W.J. van Doorenmaalen, Prof dr W. Fiers, Prof dr H. van der Laan, Prof dr ir A. Rörsch, Prof dr R.T. Van de Walle, Prof dr F. Van Noten. De Redactie-adviesraad adviseert in algemene zin maar draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Vormgeving: H. Beurskens, D. Gorissen, P. Maas.

Druk: Valkenburg Printers Echt (Ned.).

Voor nieuwe abonnementen: 0(0-31)43 254044
(tot 20.30 uur, ook in het weekend).

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): f 125,- of 2450 F.

Voor studenten: f 95,- of 1860 F.

Abonnement voor drie jaar: f 320,- of 6275 F.

Overige landen: f 35,- extra porto (zeepost) of f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 12,25 of 240 F (excl. verzendkosten).

Distributie voor de boekhandel: Betapress BV, Gilze (Ned.).

Abonnementen op NATUUR & TECHNIEK worden afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging voor het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Advertentie-exploitatie: Publiciteitsbureau Spoor & Partners BV (lid VOME), Postbus 200, 2060 AE Bloemendaal (Ned.).

Telefoon: 0(0-31)23-271114. *Fax:* 0(0-31)23-254045. *Telex:* 41529 spoor nl.

Redactie, vormgeving en administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Voor België: Boechtstraat 15, 1860-Meise/Brussel.

Bezoekadres: Stokstraat 24, 6211 GD Maastricht.

Telefoon: 0(0-31)43 254044 (op werkdagen tot 16.30 uur).

Telefax: 0(0-31)43 216124. *Telex:* 56642 natu nl

Postrekening: In Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur & Techniek, Maastricht.

In België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur & Techniek, Brussel.

Bankrelatie: In Nederland: ABN-AMRO-Bank NV, Heerlen, nr. 44.82.00.015.

In België: Kredietbank Brussel, nr. 423-907 0381-49.

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-project, waarin NATUUR & TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), BILD DER WISSENSCHAFT (D), SCIENZA E TECNICA (I), PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR) en MUNDO CIENTIFICO (E).

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikatie in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever.

EURO
ARTIKEL

NOTU

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale Uitgeverij en Adviesbureau b.v.

INHOUD

ACTUEEL	IV
AUTEURS	VIII
HOOFDARTIKEL/Weten	89

HET OOG

90

De kijkers bekeken

A.J. Otto en F. van der Werf

Via onze zintuigen zijn we in staat om kennis te nemen van onze omgeving. Dat is geen luxe, maar biologische noodzaak. We zouden het immers niet lang volhouden wanneer we bijvoorbeeld voedsel of gevaar niet zouden opmerken. Het oog is zo'n zintuig. Het zet de variaties in sterkte en golflengte van licht om in elektrische signalen waaruit de hersenen een samenhangend beeld van de omgeving opbouwen. Afwijkingen aan een of beide ogen kunnen ertoe leiden dat zij de werkelijkheid niet correct vertalen en de hersenen een vertekend beeld voorhouden.



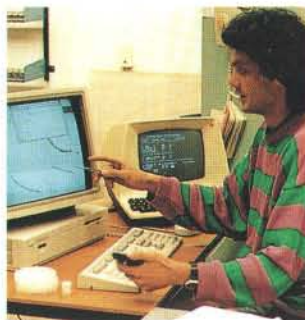
EEN ONGELOOFLIJK DUN LAAGJE

102

Oppervlak diepgaand geanalyseerd

G.W.R. Leibbrandt

Bestudering van dunne materie-lagen vormt een onderzoeksgebied op zich; die lagen zijn te dik voor de oppervlaktefysica en te dun voor de fysica van de vaste stof. Om door te dringen in deze wereld van lagen van slechts een tiental atomen dik, maken onderzoekers gebruik van allerlei vormen van ionenverstrooiing. Ooit gebouwd voor kernfysische experimenten, bewijzen deeltjesversnellers nu hun nut voor de studie van bijvoorbeeld dunne platinalagen, legeringslagen van platina en ijzer, dunne ijzeroxiden en combinaties daarvan. Dunne lagen vinden steeds meer geavanceerde toepassingen.



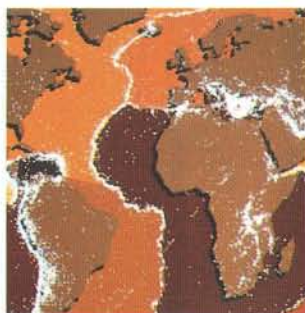
AARDBEVINGEN

118

Een signaal van de aarde

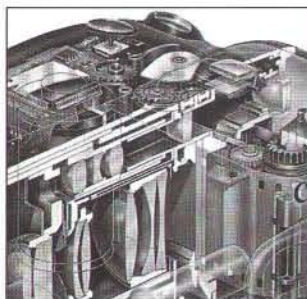
Hanneke Paulssen en Torild van Eck

Op 13 april 1992, 's ochtends om tien voor half vier, werden veel mensen in Nederland, België, en Duitsland wakkergeschud door de trillingen van een aardbeving bij Roermond. Seismologen stelden vast dat de aardbeving een magnitude van 5,7 op de schaal van Richter had. Zij constateerden bovendien dat de aardbeving op een diepte van ongeveer twintig kilometer ontstond en dat het gesteente zich daarbij over een oppervlak van ongeveer 15 vierkante kilometer zo'n tien centimeter verplaatste. In dit artikel gaan we in op wat seismogrammen ons leren.



NATUUR '93 & TECHNIEK

februari/61^e jaargang 1993



KIJK OP WETENSCHAP

Automatische fotocamera's

130

H.P.L. Coenen

Met behulp van micro-elektronica zijn de fabrikanten van foto toestellen er in de jaren tachtig in geslaagd om een vrijwel volautomatische camera op de markt te brengen. De huis-tuin-en-keukenfotograaf hoeft alleen nog maar te richten op zijn onderwerp en op de knop te drukken. De camera antwoordt klik, flits, zoem, en levert een scherpe, goed belichte foto.



MUSKIET EN MEMBRAAN

138

Het verborgen leven van de malariaparasiet

J.A.F. Op den Kamp en B. Roelofs

Dankzij de ruime toepassing van DDT leek malaria 25 jaar geleden een overwonnen plaag. Maar de malariamusket verwierf resistentie tegen DDT, een bestrijdingsmiddel dat we overigens niet meer willen gebruiken. Thans eist de malariaparasiet jaarlijks weer miljoenen slachtoffers. Om de parasiet doeltreffend aan te pakken, moeten we weten hoe die zijn verwoestend werk verricht. Biochemici bestuderen daartoe de membraan van de menselijke rode bloedcel en de veranderingen die daarin optreden als een malariaparasiet er doorheen dringt en zich binnen de cel vermenigvuldigt.



RATTEN

150

Teken van beschaving

Anton Erynck

Je ziet ze zelden, maar ze zijn er in groten getale: ratten. Sommigen beweren zelfs dat er evenveel ratten als mensen voorkomen. Hierbij doelen ze vooral op het grote aantal bruine ratten dat in onze steden huist. De tweede rattensoort die bij ons leeft, de zwarte rat, is immers vrij zeldzaam. Vanwaar is die menigte ongewenste knaagdieren afkomstig en wanneer zijn ratten voor het eerst in onze gewesten gesignaleerd? Wat is het verschil tussen de geschiedenis van de zwarte en van de bruine rat? Op deze vragen kan alleen paleontologisch en archeologisch onderzoek een goed antwoord geven.

ANALYSE & KATALYSE/De mythe van de Duitse atoombom/ De valkuilen van de epidemiologie 160

SIMULATICA/Muziek uit chaos 174

PRIJSVRAAG 176

Zelflerend beeldfilter

Luuk Spreeuwers promoveerde onlangs aan de Universiteit Twente op zijn onderzoek naar een zelflerend beeldfilter. Het is voldoende om het filter twee beelden aan te bieden, namelijk één verstoord en één gewenst beeld van een willekeurig object. Als het filter daarna soortgelijke verstoorde beelden krijgt aangeboden, dan verbetert het ze door zo goed mogelijk de kwaliteit van het gewenste beeld te benaderen. Deze methode voor het ontwerp van zelflerende beeldfilters is niet alleen toepasbaar bij allerlei verstoringen, maar ook voor patroonherkenning. Deze vinding is geen filter in de klassieke zin, maar bestaat uit een computerprogramma dat een

neurale netwerk simuleert. Zij vormen door indirecte vergelijking van twee beelden het gewenste filter. De structuur van zulke netwerken lijkt globaal op de structuur van onze hersenen. Net als de hersenen, kunnen ook de neurale netwerken leren van voorbeelden. Hoe de processen in de neurale netwerken nu precies verlopen, is niet bekend, maar ze zijn verbluffend eenvoudig toepasbaar.

In een neurale netwerk zijn rekenende cellen met elkaar verbonden. Vooral bij grote netwerken kan dat een enorm complex geheel opleveren. Spreeuwers kiest bij zijn vinding voor kleine neurale netwerken, die maar een klein stukje van het aangeboden,

digitale beeld tegelijk bekijken. Hij maakte onder andere een filter dat ruis verwijdert en een filter dat een onscherpe afbeelding scherp weergeeft.

In tegenstelling tot voor conventionele beeldfilters, is er voor de zelflerende beeldfilters geen ingewikkeld ontwerpproces meer nodig. Voor elk nieuw type filter volstaat het aanbieden van een verstoord en een gewenst beeld. Spreeuwers formuleerde ook een nieuwe objectieve kwaliteitsmaat voor beeldfilters: het AVR (*average risk*). Met behulp van deze kwaliteitscontrole kan zijn vinding zichzelf controleren en zich door zelftraining perfectioneren. Daarmee ligt de weg open naar razendsnelle herkenning en verbetering van het meest uiteenlopende, verstoorde beeldmateriaal.

Persbericht Universiteit Twente



a



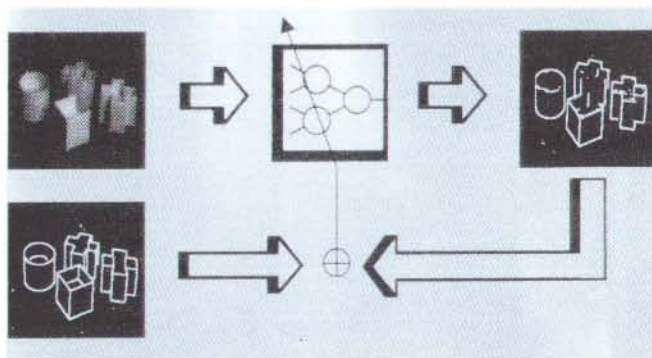
b



c

Het zelflerende beeldfilter kreeg de linkerfoto als voorbeeld aangeboden. In afbeelding b was sprake van een enorme ruis. Toch wist het filter deze afbeelding aan te passen, waarbij het rechterplaatje ontstond.

Spreeuwers maakte ook een filter dat contouren tekent in de aangeboden afbeelding. Het filter vergeleek deze contouren met een model (links-onder), waarna het de filtering kon aanpassen.



Plantaardig eiwit voor de Derde Wereld

Knoldragende gewassen kunnen een grote bijdrage leveren aan een verbeterde voeding en zelf-onderhoud in Derde-Wereldlanden. Met name de yambonen leveren voedzame knollen, stellen weinig eisen aan de bodemgesteldheid, zijn bestand tegen ziekten en produceren zelfs in tijden van droogte een oogst. In een EG-project onderzoeken diverse Europese instituten samen met Derde-Wereldlanden de mogelijkheden die de yamboom biedt. Er zijn vijf soorten yambonen, die samen het geslacht *Pachyrhizus* vormen. *Pachyrhizus* behoort tot de Leguminosae of vlinderbloemenfamilie, waartoe bijvoorbeeld ook de doperwt behoort. Net zoals de andere soorten in deze familie, onderhouden yambonen een efficiënte symbiotische relatie met een bacterie. De bacteriën leggen stikstof uit de lucht vast in knollen op de dunne wortels. Daardoor hebben yambonen geen stikstofhoudende mest nodig.

Een kenmerkende eigenschap van dit geslacht is het rotenongehalte. Rotenon is een natuurlijk insecticide en is aanwezig in de volwassen zaden. Deze giftige stof komt echter niet in de wortels voor en geen ander deel van de plant bevat rotenon in giftige hoeveelheden.

Het oorspronkelijke verspreidingsgebied van de yamboom *P. erosus*, die in Mexico bekendstaat als jicama, ligt in Midden-Amerika tussen 22° NB, waar hij groeit op zeeniveau, en de zuidelijker gelegen Costa-Ricaanse provincie Guanacaste, waar de plant het op 1700 meter boven zeeniveau goed doet. Zowel de gecultiveerde als de wilde plant hebben matig sterke ranken en nogal grote, knolachtige wortels. Doorgaans vindt zelfbevruchting plaats, maar er komt in grote vel-



Aan de University of the West Indies probeert men de oogstopbrengst van een yamboom uit Bolivië, *Pachyrhizus ahipa*, verder te vergroten. (Foto: Grace Sirju-Charran)

den met yambonen ook wel kruisbestuiving voor. De plant kan op uiteenlopende bodemsoorten groeien, als er maar jaarlijks een niet te korte, droge periode is. Dat laatste beperkt natuurlijk wel het verspreidingsgebied. De periode van bloei- en zaadvorming hangt sterk af van de wisseling van de daglengte en de nachttemperatuur. De bloei zet in bij korter wordende dagen en dalende nachttemperaturen.

Een andere yamboom komt voor in Andesvalleien op een hoogte van 1500 tot 3300 meter. Het is *P. ahipa*, die in Peru en Bolivië respectievelijk *ajipa* of *ashipa* wordt genoemd. Dit gebied strekt zich uit van de noordelijkste provincie van Argentinië tot de zuidelijkste provincie van Ecuador. We zien de plant echter maar zelden buiten Bolivië. Hij heeft een paar zeer aparte kenmerken,

zoals de halfopgaande, struikachtige groei, de korte and simpele bloeiwijze, de langwerpige knol en het hoge droge-stofgehalte daarvan. Sommige variëteiten hebben lichtpaarse streepjes vlak onder de schil van de knol, voor veel consumenten een aantrekkelijk kenmerk.

Uit landbouwkundig oogpunt is *P. ahipa* zeer interessant. Niet alleen vanwege de snelle groei – na vier tot vijf maanden zijn er al verhandelbare knollen ontstaan – maar vooral omdat de plant ongevoelig is voor daglengte en temperatuur. Taxonomen vinden de plant ook interessant, ze weten namelijk nog niets over zijn wilde voorouders.

De laatste gecultiveerde soort, *P. tuberosus*, heeft een grote, sterke rank met een lengte van twee tot zeven meter. Hij vormt de grootste zaden binnen het geslacht en

flinke knollen. Er komen in de Amazone-gebieden van Ecuador, Peru, Bolivia en Brazilië zowel wilde als gecultiveerde variëteiten voor.

Verbouw

Alhoewel planten met meerdere knolvormige wortels voorkomen bij alle drie yamboomsoorten die in cultuur zijn en de ruimte tussen de planten daarbij een rol speelt, hebben de cultuurvariëteiten gewoonlijk slechts één wortelknol per plant. De verhandelbare grootte daarvan is een halve tot een hele kilo. Het gewas plant zich niet voort via de knollen, maar via zaden. Van oudsher wordt de yamboom in tussenbouw geteeld met maïs en de gewone boon. De drie gewassen worden gelijktijdig gezaaid. Na ruim veertig dagen oogst men de boon, zeventig dagen later de maïs en na 140 tot 150 dagen de yamboom. Het gemiddelde aantal planten per hectare is in Mexico 60000 tot 80000. De zaaitijd varieert, afhankelijk van de hoogte. In het westelijk gelegen kustgebied Nayarit is de zaaitijd in oktober en november. Op dat mo-

ment breekt de oogsttijd aan in de hooggelegen provincie Guanajuato, 350 kilometer oostelijker, waar de zaden al in maart zijn geplant. De yambonen voor de export worden geteeld als monogewas.

Teneinde het knolformaat te bevorderen, kan men de plant snoeien. Bij *P. erosus* snijdt men drie tot vier keer per groeiseizoen de jonge scheuten weg. Bij *P. tuberosus* is het voldoende om de helft van de bovengrondse delen weg te halen zodra de bloei begint. *P. ahipa* blijft van de snoei gevrijwaard.

De oogstopbrengst wisselt, afhankelijk van de wijze van verbouw, de plantdichtheid, de variëteit en het wel of niet irrigeren. In Mexico is de gemiddelde oogst tachtig ton per hectare, en dat op akkers waarop al zo'n veertig tot vijftig jaar yambonen worden verbouwd. Het enige andere tropische knolgewas dat zo'n opbrengst kan leveren is *Manihot esculenta*, dat we kennen onder de namen maniok, cassave en tapioca. De yamboom heeft er echter maar vier tot zeven maanden voor nodig. En alhoewel het droge-stofgehalte

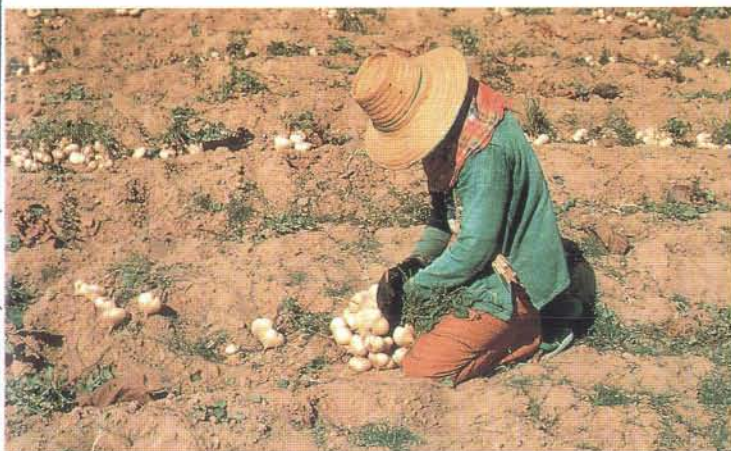
■ **Viakbij de Thaise plaats Pü Noi, Khon Kaen, oogst men een variëteit van *P. erosus* die het in droge gebieden goed doet. (Foto: Olav Stølen, de drie afbeeldingen bij dit artikel zijn beschikbaar gesteld door dr Marten Sørensen)**

van de yamboomknol lager is, heeft die op basis van de hoeveelheid droge stof, vier tot vijf keer zoveel eiwit als de cassave. Dat komt overeen met meer dan zeven ton eiwit per hectare. Een extra voordeel is dat de knollen maandenlang kunnen worden bewaard.

Verse yamboomknollen bestaan voor acht tot negen tiende uit water en bevatten 1 tot 2,5 procent eiwit, 0,1 procent vet en tien tot vijftien procent koolhydraten. Japanse onderzoekers hebben aangetoond dat de knol uitstekend verteerbare zetmeel bevat en geschikt is voor kindervoedsel. De aminozuursamenstelling steekt gunstig af bij andere knolgewassen. Als we ook het lage vetgehalte meenemen in onze beschouwing, dan is het niet verwonderlijk dat diëten in de Verenigde Staten de yamboom als 'health food' aanmerken. De

■ Door kruisen van yambonen hopen onderzoekers variëteiten te verkrijgen, die in minder vruchtbare landbouwgebieden de bevolking van voldoende voedsel kunnen voorzien. Deze knollen zijn afkomstig van de vijfde generatie van hybriden, verkregen door kruising van een *Pachyrhizus erosus*-variëteit met *Pachyrhizus ahipa*. Ze zijn gekweekt in de Mexicaanse provincie Guanajuato. (Foto: Elena Heredia García)





'Chop suey bean', zoals de commerciële benaming van de yamboom in de Amerikaanse supermarkt luidt, is daar in feite de exclusieve groente met de snelst groeiende markt. De yamboomknollen zijn een beetje zoet, met een milde, erwtachtige smaak en een stevige structuur, net zoals appels. Ze kunnen worden gekookt en gefrituurd, maar ze zijn ook rauw eetbaar. Ze bevatten geen giftige stoffen, in tegenstelling tot de cassave.

Overigens is de knol niet het enige eetbare deel van de plant. In Thailand gebruikt men de jonge peulen in plaats van bonen. Naar verluidt hebben ze een prettige smaak. Qua voedingswaarde zijn de jonge peulen te vergelijken met sojabonen. De volwassen zaden bevatten teveel rotenon om eetbaar te zijn. Behalve het insecticide bevatten de zaden echter ook veel plantaardige olie, die bijna dezelfde samenstelling heeft als soja-olie. Na extractie van de rotenon is de olie bruikbaar. Braziliaanse wetenschappers demonstreerden deze mogelijkheid met zaden van *P. tuberosus*. Onderzoek aan de universiteit van Costa Rica naar de variatie in het rotenongehalte in de diverse variëteiten en soorten, bevestigde dat de yamboom veel olie van goede kwaliteit levert.

Multipurpose knolgewas

De knollen en de jonge peulen en bonen worden gebruikt als voedsel voor mens en dier. Het gedroogde hooi dat resteert na de oogst gebruikt men in Mexico als veevoer. De rotenon in de volwassen zaden kan men met eenvoudige isolatiemethoden winnen. Het is verkoopbaar als een goed insecticide, maar kan ook plaatselijk worden ingezet om planten te beschermen. En als de rotenon goed is verwijderd, is de yamboomolie een geschikt alternatief voor soja-olie.

Het yamboomproject van de EG is gericht op de ontwikkeling van nieuwe cultuurvariëteiten met een hoge opbrengst. Daarvoor voert men hybridisatie-experimenten uit binnen de soort en tussen verschillende soorten. Alle bekende cultuurvariëten, uitgezonderd enkele die in India zijn verkregen door stralingsexperimenten, zijn het resultaat van selectie zonder voorafgaande teelt. Als we hybriden kunnen verkrijgen die de lage struikvorm en de ongevoeligheid voor daglicht- en temperatuursveranderingen van de *P. ahipa*, de kracht van de *P. tuberosus* en de hoge oogstopbrengst van *P. erosus* combineren, kan de plant onder tal van klimaatomstandigheden een rijke

oogst leveren. Tot nu toe zijn vier van de vijf yamboomsoorten met succes gekruist. In 1989 begonnen de selecties op grond van oogstopbrengst en aanpassings-experimenten. Inmiddels zijn onderzoekers bezig met de beoordeling van de vijfde en zesde generaties.

De nadruk bij het EG-onderzoek ligt op de ontwikkeling van nieuwe variëteiten door kruisen. Veldtesten in Mexico, Costa Rica, Equador, Senegal, Benin, Thailand en Tonga (Zuid-Pacifisch eiland) hebben echter laten zien, dat de bestaande soorten al enorme mogelijkheden bieden. Twee Mexicaanse variëteiten van *P. erosus* hebben tussen 102 en 160 ton per hectare opgeleverd. Een Haïtiaanse variëteit van *P. tuberosus* leverde 70 ton per hectare en recent verzamelde exemplaren van Ecuadoriaanse variëteiten van *P. tuberosus* lijken eveneens een goede oogst te kunnen gaan leveren.

De onderzoekers voeren de veldproeven uit op diverse hoogten, onder uiteenlopende klimatologische omstandigheden en bodemcondities. Ze hebben zowel gebieden met veel regenval als halfdroge gebieden uitgekozen. In Senegal zijn de proeven gericht op het vinden van yambonen die het beste droogte kunnen verdragen. Het is gebleken dat *P. ahipa* totaal anders reageert op droogte dan *P. erosus* en, als we naar de opbrengst kijken, beduidend minder last van watergebrek heeft.

Alhoewel het yamboongeslacht *Pachyrhizus* slechts vijf soorten bevat, bestaan er binnen deze groep enorme verschillen qua vorm en genetische eigenschappen. Deze plant houdt een enorme belofte voor de toekomst in, gezien de hoge opbrengst en de inzetbaarheid van de plant onder uiteenlopende klimatologische omstandigheden.

Dr Marten Sørensen
Koninklijke Landbouw-
universiteit, Kopenhagen

Het **nieuwste** boek uit de
Wetenschappelijke Bibliotheek

DE DNA-MAKERS

DE DNA-MAKERS

Architecten van het leven

Huub Schellekens e.a.



Architecten van het leven

Huub Schellekens e.a.

Momenteel kennen we allerlei technieken om DNA in kaart te brengen, te vermeerderen en zelfs te veranderen. Daarmee worden nieuwe wegen geopend om ziekten te herstellen of te voorkomen. De ethische discussie over wat mogelijk en wat wenselijk is, wordt heviger dan ooit.

In dit boek komen vele, internationaal erkende experts aan het woord. Zij schrijven over hun eigen bijdrage aan deze DNA-speurtocht. Eigenlijk zijn zij de 'makers' van het DNA zoals we het nu kennen en zoals het misschien zal worden.

Dit is deel 30 uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek: 256 pagina's met talrijke afbeeldingen in zwart/wit en vierkleurendruk.
ISBN 90 73 035 20 1

Prijs: f 74,50 of 1460 F.

Voor abonnees van Natuur & Techniek:

f 59,50 of 1165 F.

Voor leden van de Wetenschappelijke Bibliotheek:

f 49,75 of 975 F.

Informatie en bestellingen tot 16.30 uur:
0(0-31)43.254044

AUTEURS

Dr A.J. Otto ('Het oog') werd in 1929 te Velsen geboren. Hij studeerde in Amsterdam en promoveerde er in 1991. Tot 1974 was hij chef de clinique van het Nijmeegse Instituut voor Oogheelkunde. Van 1974 tot 1986 was Otto oogarts aan het Nijmeegse Canisius-Wilhelmina Ziekenhuis. Momenteel is hij algemeen directeur van het Interuniversitair Oogheelkundig Instituut te Amsterdam.

Drs F. van der Werf ('Het oog') studeerde biologie in Amsterdam. Van 1968 tot 1989 was hij in dienst bij het Anatomisch Embryologisch Laboratorium van de Universiteit van Amsterdam. Momenteel verricht hij promotie-onderzoek aan het Interuniversitair Oogheelkundig Instituut. Van der Werf werd in 1948 te Amsterdam geboren.

Dr G.W.R. Leibbrandt ('Dunne lagen') is geboren in Amsterdam, op 26 september 1963. Hij studeerde van 1981 tot 1987 natuurkunde aan de Rijksuniversiteit te Groningen en promoveerde in 1992 te Utrecht. Sinds juni 1992 is Leibbrandt als onderzoeker werkzaam op het Philips Natuurkundig Laboratorium te Eindhoven.

Dr H. Paulssen ('Aardbevingen') is geboren in Rotterdam, op 16 januari 1958. Zij studeerde geofysica aan de Utrechtse universiteit waar zij in 1988 promoveerde. Paulssen is momenteel universitair docent seismologie. Daarnaast vervult zij de functie van coördinator van het netwerk van seismografen (NARS) van de Universiteit Utrecht.

Dr J.T. van Eck ('Aardbevingen') werd op 5 december 1949 te Delft geboren. Hij studeerde geofysica in Utrecht en promoveerde in 1986 aan de universiteit van Uppsala in Zweden. Van 1987 tot 1990 was Van Eck in dienst van het Institute for Petroleum Research & Geophysics in Israel. Momenteel is hij universitair docent te Utrecht.

Drs H.P.L. Coenen ('Fotocamera's') werd op 28 april 1932 geboren in Maastricht. Hij studeerde natuurkunde in Utrecht. Sinds het beëindigen van zijn studie in 1956 is hij leraar natuurkunde. Sinds 1973 is hij bovendien docent didactiek van de natuurkunde aan de TU Delft.

Dr J.A.F. Op den Kamp ('Malaria') werd in 1939 te Zevenbergen geboren. Hij studeerde scheikunde in Utrecht en promoveerde daar in 1968. Na een jaar aan Stanford University keerde hij terug naar Utrecht. Hij is er universitair hoofddocent. Bovendien is hij sinds vorig jaar buitengewoon hoogleraar aan de Science Faculty in Coimbra, Portugal.

Dr B. Roelofsen ('Malaria') werd op 24 april 1957 geboren in Amsterdam. Hij studeerde (bio)chemie aan de Universiteit Utrecht en trad na zijn studie in dienst van de universiteit. Momenteel is hij er universitair hoofddocent aan het Centrum voor Biomembranen en Lipide Enzymologie. Roelofsen promoveerde in 1968 te Utrecht.

Dr A. Ervynck ('Ratten') studeerde biologie te Gent. Na zijn afstuderen in 1983 specialiseerde Ervynck zich op het Lab voor Paleontologie aan de RU Gent en promoveerde in 1989 te Amsterdam. Tot op heden is hij wetenschappelijk medewerker van het Instituut voor het Archeologisch Patrimonium van de Vlaamse Gemeenschap. Ervynck is in 1961 te Arnsberg geboren.

Weten

Wanneer dit nummer verschijnt, komen de eerste sneeuwkllokjes alweer uit in de tuinen, en hier en daar ziet men in de wei een lammetje. Net als omstreeks dezelfde tijd vorig jaar. Geen wonder dat mensen vroeger (en op andere plaatsen nu nog) dachten dat de tijd cyclisch was, dat alles slechts tijdelijk veranderde, om daarna weer bij het oude terug te keren. Wij weten natuurlijk wel beter. De meeste van ons verdienen nu meer dan een jaar geleden en veel meer dan onze ouders verdienden. Er is vooruitgang, en vooruitgang betekent dat de tijd lineair is, dat het oude nimmer terugkeert. Ook dat bijvoorbeeld de wetenschappelijke kennis steeds groter wordt.

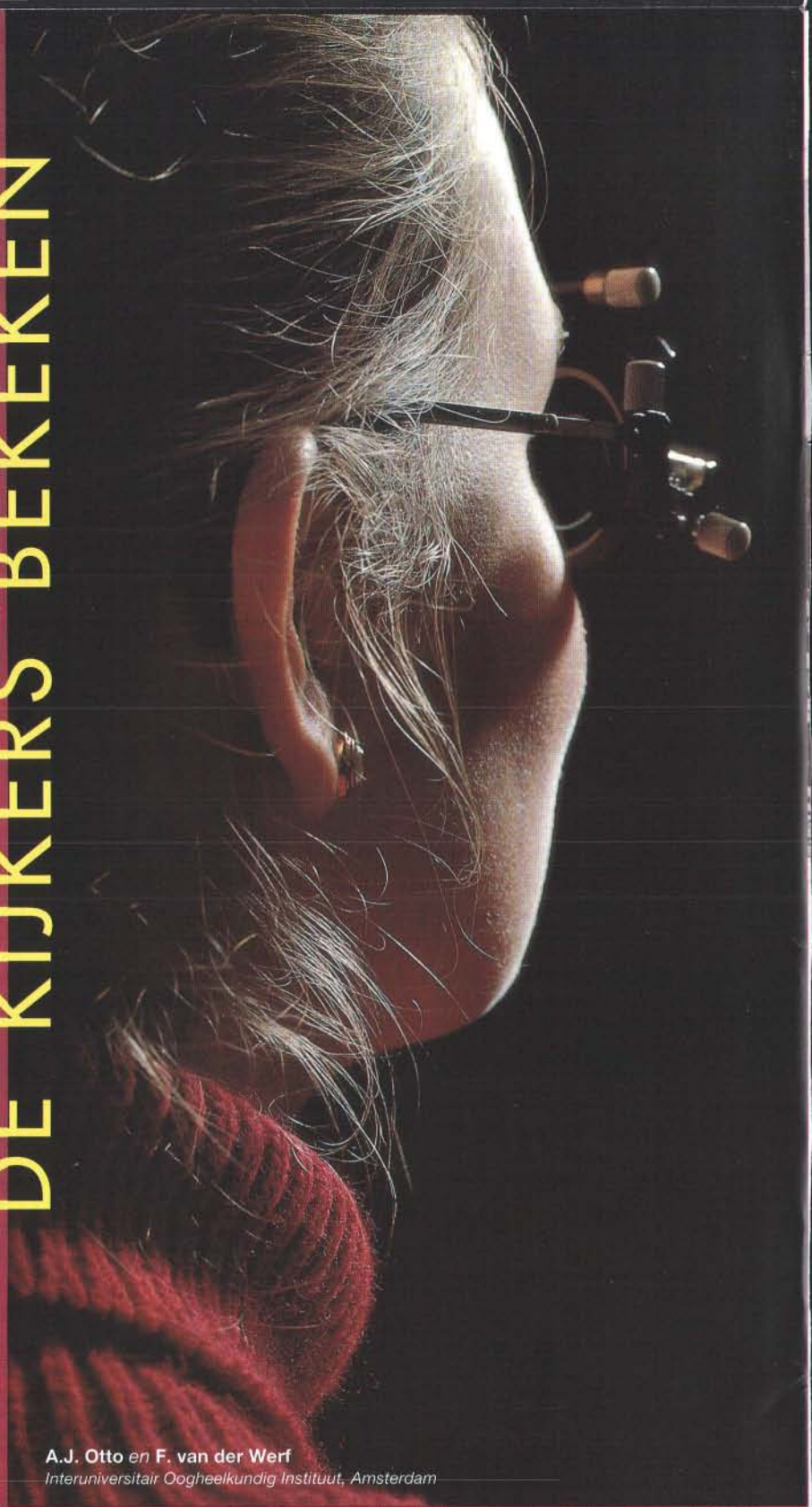
Het prachtige artikel van Op den Kamp en Roelofsen in dit nummer (pag. 138) laat zien hoe die vooruitgang in zijn werk gaat. Juist omdat het bijna een opsomming is van maar zeer gedeeltelijk en nog niet geheel beantwoorde vragen. En toch 'wisten' we vijftig jaar geleden de oplossing van het malariaprobleem, en veertig jaar terug 'wisten' we dat de malaria uit de wereld was. Nu 'weten' we dat we vooral enkele problemen voor de malariamug en het onderzoek naar malaria uit de wereld hebben geholpen en voor het overige zijn we net zo ongeveer toe aan het stellen van – weliswaar geheel nieuwe – vragen.

Een aantal moderne filosofen als Feigl en Rorty, maar ook elke natuurkundige die zich afvraagt wat hij nu eigenlijk aan het doen is, heeft dan ook onze opvattingen over wetenschappelijke kennis op de tocht gezet. Het denkbeeld dat de wetenschap oop zoek is naar de Waarheid is opgegeven. In plaats daarvan hebben we nog theorieën, opgebouwd uit reeksen hypothesen, en de enige eis die we daaraan stellen is niet meer dat ze juist zijn, maar dat ze bruikbaar zijn. Bruikbaar als verklaring voor de uitkomsten van onze metingen, bruikbaar ook bij het ontwerpen van systemen en apparaten met praktische toepassingen. Een vergrijsde radicaal uit de jaren zeventig zal zeggen: bruikbaar voor het maken van winst. Dat is op zich niet onjuist, maar wel maar een heel klein deel van het begrip bruikbaarheid.

Niettemin, wanneer op een gegeven moment de bruikbaarheid van een bouwsel van hypothesen heeft geleid tot hardware en software, dan zijn er ook meestal aanzienlijke belangen mee gemoeid. Er is veel in geïnvesteerd en er zijn veel mensen voor hun werkgelegenheid van afhankelijk. Dat is niet zo maar weg te cijferen als we tot de ontdekking komen dat de bruikbaarheid beperkt is, dat er ook dingen gebeuren die niet uit de theorie volgen en die daar niet mee kunnen worden verklaard. Toch wisten we dat dat zou gebeuren, het is de normale gang van zaken in de wetenschap.

Als samenleving zitten we dan voorlopig met de gebakken peren, maar de onderzoeker kan weer heerlijk aan het werk. De wetenschap komt nooit af, dat is het enige wat we zeker weten.

DE KIJKERS BEKEKEN



A.J. Otto en F. van der Werf
Interuniversitair Oogheelkundig Instituut, Amsterdam



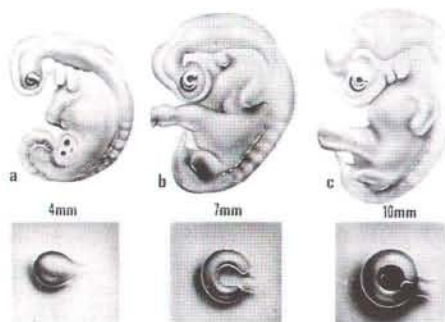
Via een aantal speciale organen, zintuigen, zijn we in staat om kennis te nemen van onze omgeving. Dat is geen luxe, maar biologische noodzaak. We zouden het immers niet lang volhouden wanneer we bijvoorbeeld voedsel of gevaar niet zouden opmerken. Het oog is zo'n zintuig. Het zet de variaties in sterkte en golflengte van licht om in elektrische signalen waaruit de hersenen een samenhangend beeld van de omgeving opbouwen. Afwijkingen aan een of beide ogen kunnen ertoe leiden dat zij de werkelijkheid niet correct vertalen en de hersenen een vertekend beeld voorhouden. Juist doordat onze hersenen er vanuit gaan dat zintuigen de werkelijkheid weergeven, vallen zintuigafwijkingen vaak pas heel laat op.

H E T O O G

Een patiënt bekijkt door een pasmontuur de letters op de kaart. Met diverse sferische en cilindrische lenzen en filters kan worden nagegaan onder welke omstandigheden de patiënt goed zicht heeft. De bovenste regel moet men normaal gesproken op vijftig meter afstand kunnen lezen, de letters op de zevende regel kan iemand zonder oogafwijking op een afstand van vijf meter nog goed onderscheiden.

Visuele waarneming, ofwel het herkennen van vorm, kleur, helderheid, contrast en beweging, is voor ons allen een van de belangrijkste informatiebronnen omtrent de buitenwereld. Zien wordt nogal eens gesimplificeerd tot het waarnemen van de letter H op de kaart bij de oogarts. Het zien is echter veel complexer. Er is dan ook een groot deel van de hersenen bij betrokken. Hoe nauw het oog en de hersenen bijeen horen, openbaart zich al in een vroeg stadium van de embryonale ontwikkeling. De ogen ontstaan namelijk als uitstulpingen van de hersenen. Bij de volwassen mens zijn ogen en hersenen nog steeds nauw met elkaar verbonden en omgeven door de stevige botdelen van de schedel.

Alvorens te bezien welke aanpassingen, verstoringen en afwijkingen bij het oog kunnen optreden, moeten wij ons eerst realiseren wat 'zien' eigenlijk inhoudt. Wanneer de letters bij elke oogarts even groot zijn (in boogminuten)



1

1. De aanleg en ontwikkeling van het oog als uitstulping van de hersenen is tijdens de eerste maand van de zwangerschap al goed te zien. Deze directe relatie zal een leven lang blijven voortbestaan.

2. Voor slechtzienden bestaan er tegenwoordig allerlei hulpmiddelen, die hen de mogelijkheid verschaffen om hun resterende gezichtsvermogen optimaal te kunnen benutten.

en er een maximaal contrast wordt aangebracht (zwart/wit) tussen letter en achtergrond, kan aan de gezichtsscherpte van iemand die een ogentest ondergaat een gestandaardiseerde waarde worden toegekend. Iemand met nor-

INTERMEZZO

Het oog

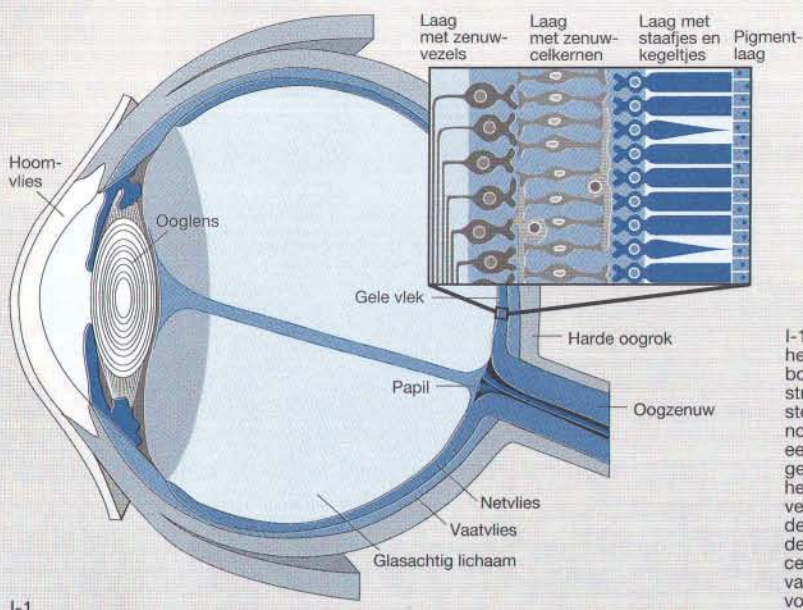
In de loop van de evolutie zijn bij vele soorten levende wezens *fotoreceptorcellen* ontstaan, gespecialiseerde cellen die uitsluitend de functie hebben om te reageren op licht. Bij de mens zijn dit speciale zenuwcellen in het netvlies van het oog, de staafjes en de kegeltjes. Het netvlies herbergt ongeveer 120 miljoen *staafjes*. Staafjes zijn gevoelig voor het deel van het elektromagnetisch spectrum dat we kennen als zichtbaar licht. Binnen dat gebied zijn ze allemaal even gevoelig voor een bepaalde golflengte. Met alleen staafjes kunnen we dus geen kleur onderscheiden. Wel geven ze al bij een heel lage lichtintensiteit signalen door naar de hersenen. De zes miljoen *kegeltjes* sturen pas bij duizendmaal meer licht informatie naar de hersenen. Elk kegeltje is gevoelig voor slechts een deel van het spectrum, hoewel de kegeltjes tezamen het hele gebied van het zichtbare licht bestrijken. Dankzij kegeltjes zien we kleur.

De kegeltjes bevinden zich voornamelijk in en om de gele vlek (*macula lutea*), het centrale netvliesgedeelte waarmee wij scherp zien. De staafjes zijn vooral daaromheen aanwezig. Al de 125 miljoen lichtgevoelige zenuwelementen zijn onderling verbonden. Ze geven hun gecodeerde informatie via de ruim een miljoen zenuwvezels van de oogzenuw door naar de visuele hersendelen in het achterhoofd.

Het netvlies (ofwel *retina*) ligt achter in het oog tegen een pigmentlaag aan die aan de andere zijde wordt begrensd door het vaatvlies (of



2



I-1. Doorsnede door het rechteroog, van boven gezien. Een stukje netvlies is sterk vergroot, maar nog steeds erg vereenvoudigd weergegeven. In werkelijkheid bestaan er meer verbindingen tussen de zenuwcellen en is de laag met zenuwcelkernen dikker en van kleine bloedvaten voorzien.

chorioidea) en de harde oogrok (of *sclera*). De pigmentlaag dient voor de uitwisseling van voedingsstoffen tussen bloedvaten in het vaatvlies enerzijds en het netvlies anderzijds, voor het opruimen van segmenten van lichtgevoelige cellen die voortdurend te gronde gaan en ter voorkoming van lichtspreading in het netvlies. Buiten het gebied van de gele vlek liggen er ook voedende vaten op het netvlies: de netvliesvaten.

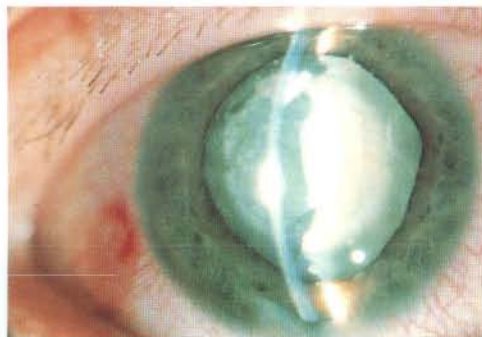
De harde oogrok (het wit van de oogbol) is aan de voorzijde helder doorschijnend en sterker gekromd dan de rest van de oogbol. Dit gedeelte van de oogrok wordt het hoornvlies of *cornea* genoemd. De kromme voorvlakte van het hoornvlies breekt samen met de ooglens het licht zo, dat op het netvlies een scherp beeld ontstaat. Een kraakheldere gelei, het glasachtig lichaam, vult de oogbol op

male gezichtsscherpte kan de grootste letter H op vijftig meter zien. Als dit de enige letter is die een patiënt herkent vanaf een onderzoeksafstand van vijf meter, dan bedraagt zijn gezichtsscherpte 5/50 ofwel 0,1. Als dezelfde letter echter in een grijs tint wordt aangeboden (minder contrast) dan zal de gezichtsscherpte op een lagere waarde uitkomen. Hiermee kan een waarde worden toegekend aan de mogelijkheid van contrastzien. Ook het waarnemen van kleuren is een belangrijk facet van het zien. Het oog kan tussen de kleuren violet en rood zeer fijne nuances in de golflengte van het licht onderscheiden.

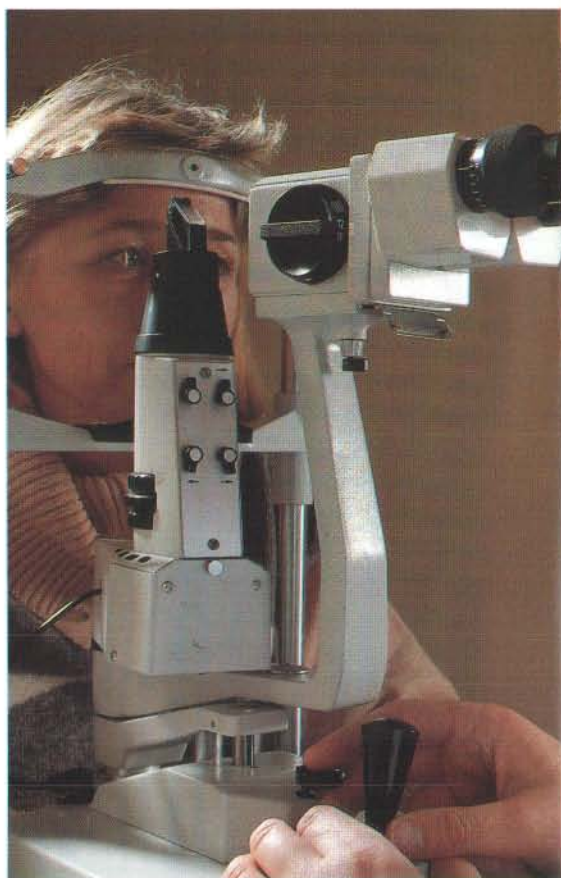
We kunnen 'op het oog' onze weg vinden bij zowel extreem veel licht als ook in vrijwel complete duisternis, een helderheidsverschil dat een factor miljard uiteenligt. Dit is niet alleen het gevolg van de pupil, die ons bij veel licht bescherming biedt door te vernauwen (minder licht door te laten) en in het donker juist vol open gaat, maar ook van aanpassingen in het netvlies zelf. Deze mechanismen staan bekend als *adaptatie*. Dat ook onze kleurwaarneming niet absoluut is, maar mede afhankelijk van de adaptatietoestand van het oog, blijkt wanneer we op een zonnige plek één oog een kwartier lang met de hand te be-



3



4



5

dekken. Vergelijken we daarna beide oogbeelden, dan zal het aan het donker aangepaste oog alle kleuren met een blauwachtige, koele felheid zien, terwijl het aan het licht gewende oog alle kleuren juist warm en roodverzadigd ziet.

De term adaptatie mogen we niet verwarren met *accommodatie*, de functie die het ons mogelijk maakt op verschillende afstanden scherp te zien door de bolling van de ooglenzen te veranderen. Bij oudere mensen verliest het oog zijn accommodatievermogen, doordat de lensvezels stugger worden. Zij hebben een leesbril nodig.

Een van de belangrijkste nog niet genoemde eigenschappen van het oog is de omvang van het gezichtsveld. Men moet zich realiseren dat wij, zelfs met alle eerder beschreven functies intact, ernstig invalide zouden zijn zonder vol-

doende gezichtsveld. Er zijn overigens diverse ziekten (bijvoorbeeld retinitis pigmentosa) waarbij zich zo'n beperking voordoet. De gezichtsscherpte aan de rand van het normale waarnemingsveld bedraagt weliswaar maar twee procent van die in het centrum, maar is onmisbaar om bijvoorbeeld obstakels naast of onder ons op te merken. We bestrijken met beide ogen een veld van ongeveer 180°, waarvan bijvoorbeeld bij autorijden zo'n dertig graden daadwerkelijk wordt gebruikt. De rest van het veld levert nagenoeg geen beeld, maar is wel erg gevoelig voor bewegende objecten. De visuele oriëntatie op onze omgeving is nog veel ruimer dan wat we met een vast gezichtsveld zouden waarnemen. Wij kunnen immers door hoofd en ogen te bewegen onze gehele omgeving snel en doeltreffend in beeld brengen.



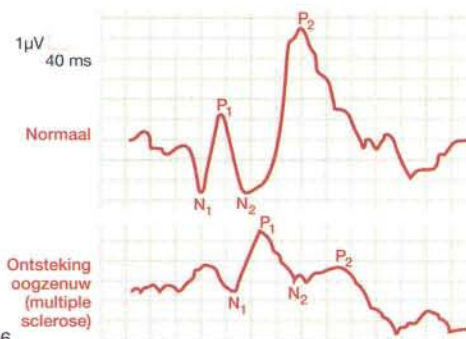
3, 4 en 5. De doorschijnende media van het oog kunnen we beoordelen als we een spleetvormige lichtbundel onder een hoek op het oog te laten vallen en het hoornvlies, de lens en het glasachtig lichaam van voren bekijken. Afbeelding 3 toont een gezond oog. Bij aangeboren grauwe staar (4) vertoont vooral de eerste lensaanleg, de lenskern, de meeste troebeling.

6 en 7. De geleiding van de zenuwbanen tussen het oog en de hersendelen waar de zenuwvezels eindigen, kan worden geregistreerd door *visual evoked responses* of VEP's af te leiden met elektroden op het achterhoofd. Oogzenuwproblemen kunnen de geleidingstijd van de actiepotentialen verlengen. De p- en n-toppen zijn naar rechts verplaatst. De geleiding is ruim 50 milliseconden vertraagd als gevolg van een ontsteking.

klachten te ontzenuwen. Toch zijn er ook mogelijkheden voor objectief onderzoek.

De methoden voor objectief onderzoek vallen hoofdzakelijk onder het hoofdstuk elektro-fysiologie. Het oog vormt een voorpost van de hersenen die lichtenergie omzet in zenuwimpulsen. Die bereiken hun eindbestemming via de oogzenuw en specifieke hersenbanen. Zowel de grootte (amplitude), de vorm en de geleidingssnelheid van de signalen naar en in de hersenen kunnen worden gemeten. De gegevens zeggen iets over de mate waarin het visuele stelsel functioneert.

Van de miljoenen impulsen die de kegeltjes en staafjes bij lichtinval opwekken, kunnen we een afspiegeling maken in een *elektroreti-*



6

Om goed te zien moeten de centra van de gezichtsvelden van beide ogen, de gebieden met optimale gezichtsscherpte, samenvallen. Als dit door een of andere oorzaak niet lukt, zal er veelal sprake zijn van dubbelzien, een toestand waar nauwelijks mee te leven valt. Het gecombineerde beeld van beide ogen maakt zowel bij recht vooruit kijken als bij oogbewegingen ruimtelijk zien mogelijk.

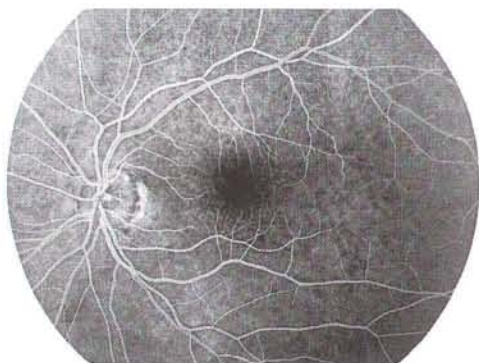
Functie bepaling

Het vaststellen van bovengenoemde facetten van het zien – scherpste, contrast, kleurenzien, gezichtsveld, adaptatie, accommodatie en ruimtelijk zien – kan eigenlijk alleen subjectief. De onderzochte persoon moet immers zelf aangeven wat hij waarneemt of niet. Overigens zijn er heel wat trucjes bedacht om gesimuleerde



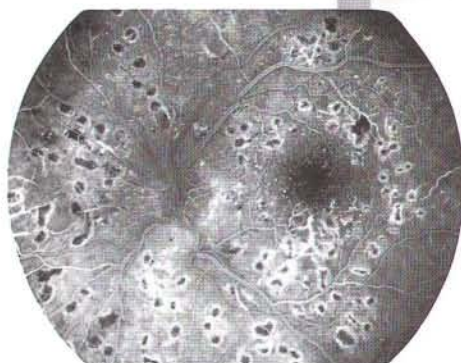
7

nogram. De respons van het oog wisselt en is afhankelijk van de intensiteit van de lichtprikkel, de kleur ervan, het contrast in het voorwerp en de adaptatietoestand van het oog. De geleidingssnelheid kunnen we bepalen door de tijd te meten die verstrijkt tussen de aangeboden lichtprikkel en het moment dat de zenuwimpuls de visuele hersenschors bereikt. Een elektrode op het achterhoofd kan de aankomst van de impulsen registreren; de stroompjes worden *visual evoked potentials*, kortweg VEP's, genoemd. Het tijdsverloop tussen lichtprikkel en VEP geeft inzicht in de verrichtingen van de zenuwbanen tussen het oog en de hersenen.



8

8. Met een fluorescentietechniek is het contrast in dit netvliesbeeld enorm verhoogd. Aan het gezonde netvlies herkennen we duidelijk de papil, waar de oogzenuw en de bloedvaten het oog binnenkomen (links), en de gele vlek, de donkere vlek in het midden. De gele vlek is het gebied waarmee we scherp zien, terwijl bij de papil geen beeld kan worden gevormd, omdat daar geen netvlies aanwezig is.



9

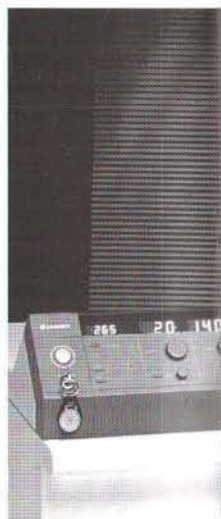
Niet alleen staafjes, kegeltjes en zenuwbanen laten zich elektronisch gadeslaan. De stofwisseling van de voedende weefsels in het netvlies leidt tot een 'energiepeil' van het oog, dat te meten is. Het peil kan wisselen, afhankelijk van de adaptatietoestand van het oog. Een te laag peil kan wijzen op stoornissen van de pigmentlaag of het vaatvlies van het oog.

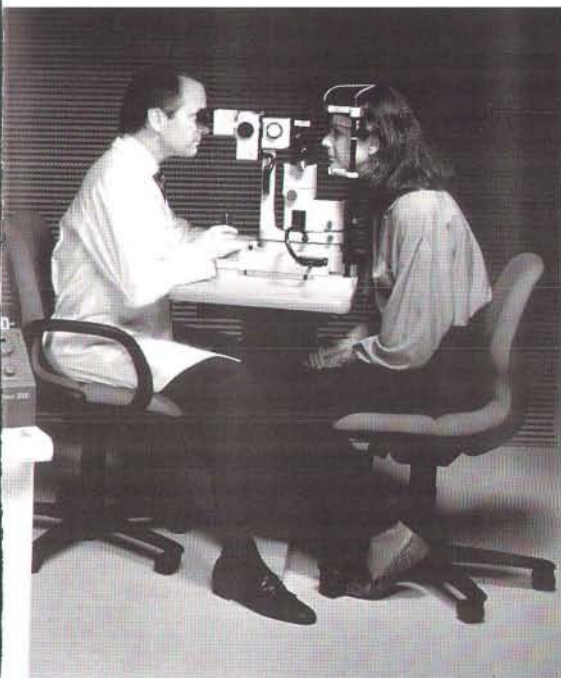
Aanpassingen aan verstoringen

Als een deel van ons lichaam mankementen vertoont, worden we dat meestal goed gewaar. Problemen met ledematen of ingewanden merken we op door pijn, beperking van functies of door abnormale reacties in het normale levenspatroon. Wanneer echter een hersendeel – inclusief het oog – niet goed functioneert, blijkt het vaak niet zo eenvoudig om een

klacht te onderkennen. Natuurlijk kan een oog rood kleuren door een ontsteking en zelfs zeer pijnlijk aanvoelen bij bijvoorbeeld een beschadiging van de oppervlakte van het hoornvlies. Andere wezenlijke tekortkomingen vallen echter vaak veel te laat op. Dat komt doordat de hersenen zich 'automatisch' aanpassen aan de problemen.

Zo kunnen bijvoorbeeld de gezichtsvelden in omvang afnemen door een beschadiging van de gezichtszenuw of door een afwijking in de hersenen. Onwillekeurig gaat degene die dit overkomt zijn ogen of zelfs z'n hoofd meer bewegen om de hersenen voldoende informatie over zijn omgeving te verschaffen. De aanpassing vindt vaak gedurende een lange tijd ongemerkt plaats, wat kan leiden tot een te late diagnose. Wie in het donker slecht ziet door een netvliesandoening, vindt het niet





10

9 en 10. Met een laser kan een oogarts lekkende bloedvaatjes dichtbranden. Dat lijkt op het netvlies (9) een ravage aan te richten, maar de achteruitgang van het gezichts-

vermogen kan ermee tot staan worden gebracht. Als de bloedvaatjes blijven lekken, ontstaan er steeds meer gebieden in het netvlies die niet functioneren.

meer leuk om 's avonds auto te rijden. Maar de betrokkene zal doorgaans niet in een vroeg stadium naar de dokter gaan.

Ook dubbelzien is zo'n probleem. Bij dubbelzien in één blikrichting wordt deze richting als het ware automatisch vermeden. Pas als in de primaire stand (recht vooruit) een oog moet worden gesloten om dubbelzien te vermijden, zal dit voldoende opvallen en er reden zijn om geneeskundige hulp te zoeken. Vooral bij jonge kinderen leidt dat soms tot ernstige problemen. Uiteraard kan een dreumes niet omschrijven dat hij dubbel ziet. Bovendien voorkomen kinderen die 'scheelzien' tot in de kleuterleeftijd het probleem vaak onbewust, door de gezichtsscherpte van een van beide ogen drastisch te reduceren. Dat wordt een lui oog, dat niet scherp ziet. De gezichtsscherpte ervan bedraagt meestal minder dan vijf pro-

cent. Ouders herkennen het vaak aan een standafwijking van een van beide ogen, bijvoorbeeld wanneer het kind moe is. Als het probleem tijdig wordt onderkend, is bij kleuters behandeling goed mogelijk. Door het goede oog af te plakken leert het lui oog weer zien, terwijl de oogarts het scheelzien met een chirurgische ingreep kan corrigeren.

Afwijkingen

Grofweg kunnen we oogafwijkingen indelen naar de plaats in het oog waar ze voorkomen. Het zien kan worden belemmerd door een stoornis in de heldere, lichtbrekende media (het hoornvlies, de lens of de heldere inhoud van het oog), in het ontvangende deel (het netvlies), in de voedende lagen (de pigmentlaag en het vaatvlies) dan wel in de gezichtsenuw.

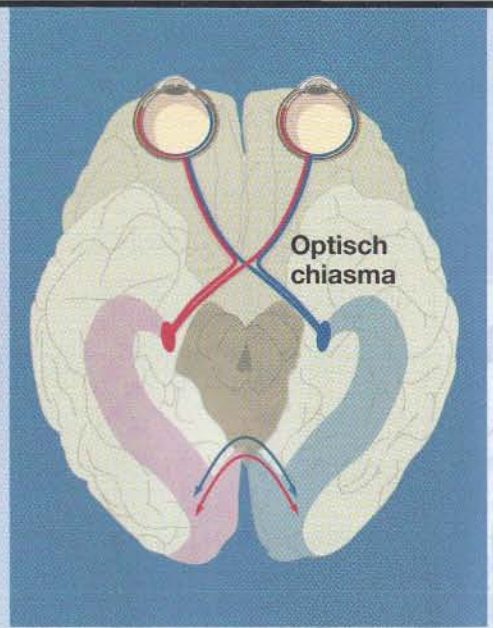
Naast afwijkingen in de brekingseigenschappen, bijvoorbeeld abnormale kromming van het hoornvlies, bedreigt vooral verlies aan doorschijnendheid de heldere delen van het oog. Troebeling van het hoornvlies kan ontstaan door littekens na beschadiging of ontstekingen en door degeneratie, vaak tengevolge van een erfelijke aandoening. We spreken van grauwe staar of cataract als de lens zijn helderheid verliest. Dat kan spontaan gebeuren bij het ouder worden, maar kan ook het gevolg zijn van een mechanische beschadiging of straling, van de stofwisselingsstoornissen bij bepaalde ziekten, of van erfelijke factoren. Bij een verkeerde breking bieden contactlenzen of een bril vaak uitkomst. Troebele weefsels kunnen soms met succes worden vervangen.

De achterpool van het oog (het netvlies, de pigmentlaag en het vaatvlies) kent zijn eigen problemen. Zo kan het netvlies slecht gaan functioneren doordat het loslaat van de voedende onderlaag (pigment- en vaatvlies). Deze kwaal is met een chirurgische ingreep goed te corrigeren. Veranderingen in de netvliesvaten door bijvoorbeeld hoge bloeddruk of suikerziekte, kunnen eveneens de lichtgevoeligheid van het oog treffen. Vaak kan een oogarts deze aandoening in een vroeg stadium ontdekken en behandelen.

Veranderingen in het vaatvlies kunnen tot (gedeeltelijk) gezichtsverlies leiden. Een aparte vermelding verdient de zeer vaak voorkomende degeneratie van de gele vlek, het gebied waarmee we scherp zien. Deze kwaal

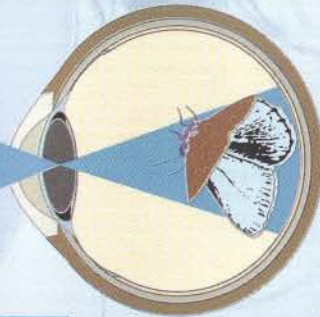
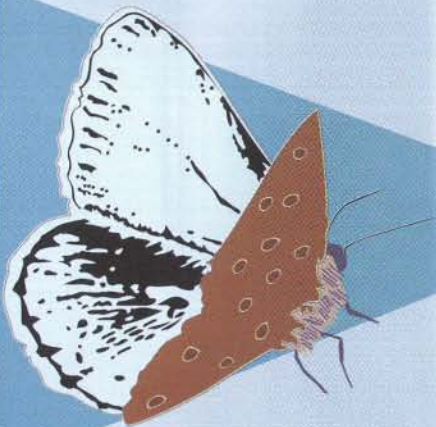
Beelden en zien

Zien begint wanneer licht onze ogen bereikt. De stroom fotonen die door bijvoorbeeld een vlinder wordt weerkaatst, bevat informatie over de kleur, vorm, grootte en beweging van het insect. Hoornvlies en ooglenzen van elk oog vormen met dat licht een scherp beeld op het netvlies. Daar zetten miljoenen zintuigcellen, de staafjes en de kegeltjes, het licht in een oogwenk om in elektrische signalen, die via beide oogzenuwen de hersenen bereiken. Razendsnel worden de berichten gesorteerd en doorgegeven aan een deel van de hersenschors achterin ons hoofd, de *visuele cortex*. Met een rekenkracht waarbij zelfs de grootste supercomputer in het niet valt, werken onze hersenen de informatie om tot een betekenisvol beeld. Hoe de hersenen dat klaarspelen, weet de wetenschap nog maar ten dele.



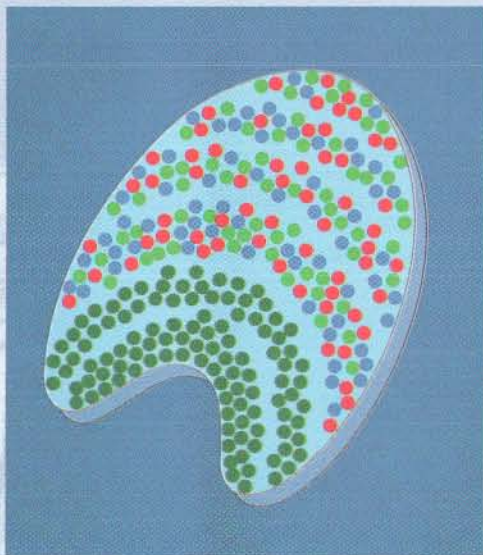
Links en rechts

Door een strikte scheiding tussen links en rechts komen signalen uit de rechterhelft van elk netvlies rechts in de hersenen terecht en signalen uit de linker ooghelft links. De gekleurde zenuwbanen in de tekening geven weer hoe het *optisch chiasma* de signalen van beide ogen splits. Elke hersenhelft krijgt op deze manier signalen uit beide ogen te verwerken. Uit het verschil tussen die signalen kunnen onze hersenen diepte reconstrueren. De splitsing tussen links en rechts maakt het bovendien mogelijk dat we ook met één oog de hele vlinder zien.



Een samenhangend beeld

De verdere verwerking van de informatie uit de ogen vindt plaats in de *primaire visuele cortex* en tientallen andere hersencentra. In het ene centrum ligt de nadruk op de waarneming van kleur, in een ander op beweging, vorm of diepte. Er is een behoorlijke overlap en druk berichtenverkeer tussen de centra onderling en met gebieden in de hersenen waarvan we eigenlijk nog niet weten wat er gebeurt. Het lijkt erop dat de hersenen het beeld van de vlinder in onderdelen verwerken. Hoe die stukken in elkaar passen is een nog onopgeloste puzzel.

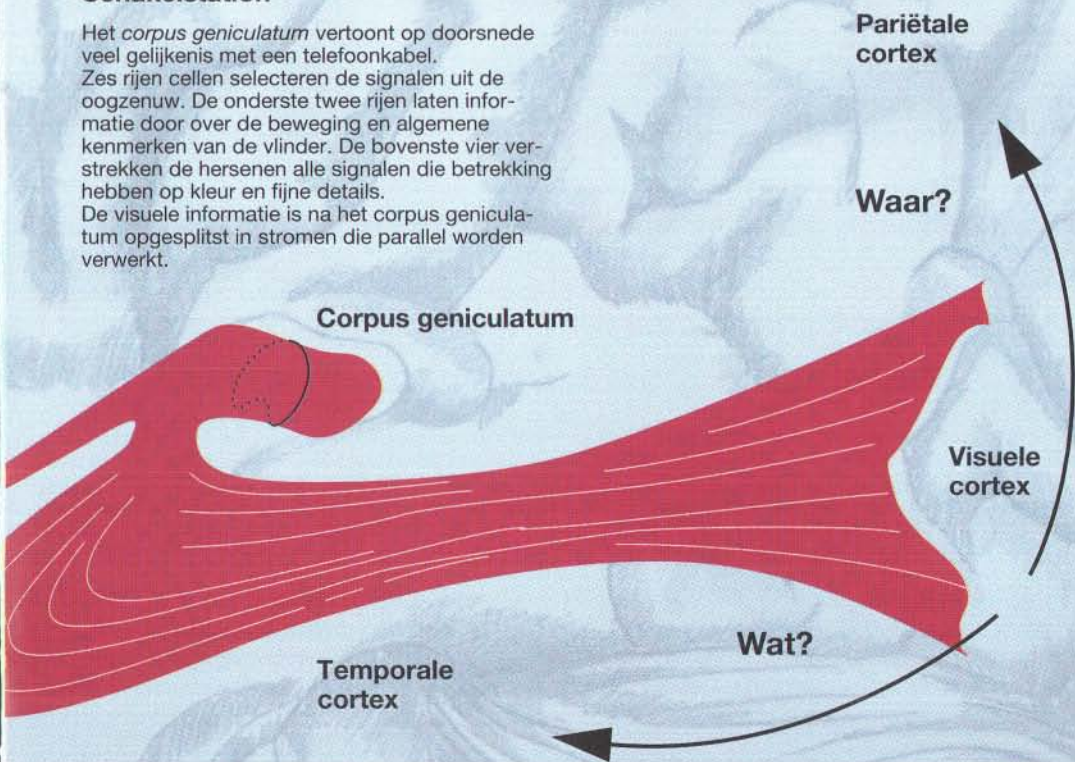


Wat en waar?

Een visueel gebied in de *temporale cortex*, een stuk hersenschors dat betekenis geeft aan vorm, herkent de vlinder als vlinder. Bij wie dit deel van de hersenen wordt beschadigd, verdwijnt het vermogen om bijvoorbeeld gezichten te herkennen; zelfs het eigen spiegelbeeld is dan een vreemde. Een gebied in de *pariëtale cortex* is gevoelig voor de plaats die de vlinder in de ruimte inneemt. Verliest de rechter-hersenhelft dit vermogen, dan kunnen we voorwerpen in de linkerhelft van ons gezichtsveld niet meer lokaliseren.

Schakelstation

Het *corpus geniculatum* vertoont op doorsnede veel gelijkenis met een telefoonkabel. Zes rijen cellen selecteren de signalen uit de oogzenuw. De onderste twee rijen laten informatie door over de beweging en algemene kenmerken van de vlinder. De bovenste vier verstrekken de hersenen alle signalen die betrekking hebben op kleur en fijne details. De visuele informatie is na het corpus geniculatum opgesplitst in stromen die parallel worden verwerkt.

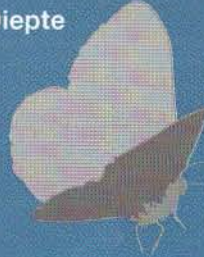


Kleur

Beweging

Vorm

Diepte



11 t/m 14. Deze afbeeldingen geven bij benadering weer wat het betekent om slechtziend te zijn, in vergelijking met een normaal gezichtsvermogen (14). Bij een ernstige lenstroebeling (staar) zijn er geen details waarneembaar (11). Als de gele vlek in het oog slecht functioneert, zal men het gebied waarop wordt gefixeerd om scherp te zien niet meer waarnemen (12). Bij andere aandoeningen van het netvlies kan juist het perifere gezichtsveld uitvallen, terwijl het centrale zien nog lang intact blijft (13). Gewoon rondlopen blijkt bij dit zogenaamde 'kokerzien' vrijwel onmogelijk te zijn.



11



13



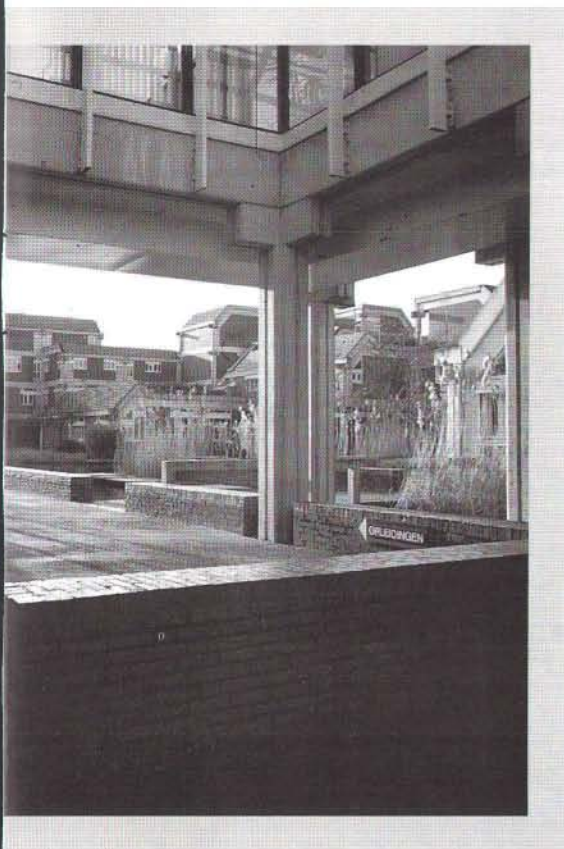
14

12

vormt tegenwoordig de belangrijkste oorzaak van slechtziendheid op hogere leeftijd, hoewel de ziekte ook bij jongeren voorkomt. In dat geval liggen er erfelijke factoren aan ten grondslag. De degeneratie is het gevolg van veranderingen in de pigmentlaag of van een verminderde doorbloeding van het vaatvlies. Als de gele vlek niet meer naar behoren functioneert, is scherp zien niet meer mogelijk. Er resteert nog wel een goed gezichtsveld. Met een dergelijk lijden kan men dus zonder meer goed rondlopen, maar lezen of het herkennen van gezichten is er niet meer bij. Een afdoende behandeling van deze aandoening is voorsnog niet voorhanden. Toch kunnen medicijnen of een lasercoagulatie-behandeling, waarbij lekkende bloedvaatjes worden afgesloten, acute verslechtingen soms wat afremmen.

Afwijkingen van de bloedvaatjes en zenuwvezels in en rond de *papil*, de plaats waar de

oogzenuw het oog verlaat, leiden tot een steeds grotere beperking van het gezichtsveld. Zonder behandeling kan de oogzenuw uiteindelijk geen enkel signaal meer doorgeven. Blindheid is het resultaat. De oorzaak van deze afwijking is meestal een aandoening die glaucoom of groene staar heet en doorgaans samengaat met een verhoging van de oogdruk, de nauwkeurig gereguleerde spanning van de oogrok. Glaucoom is verantwoordelijk voor 15% van de gevallen van slechtziendheid. In een vroeg stadium zijn er goede behandelingsmogelijkheden, maar het probleem is dat de patiënt zelf meestal pas erg laat opmerkt dat zijn gezichtsveld sterk is achteruitgegaan. Drukverlaging is het belangrijkste aspect van de behandeling. Meestal lukt dat met oogdruppels. Wanneer die ontoereikend blijken, zullen tabletten, een laserbehandeling of een operatie gewoonlijk wel soelaas bieden.



Transplantatie

Al lang is bekend dat een troebel hoornvlies met redelijk goede vooruitzichten kan worden vervangen door een donor-hoornvlies. Het transplantaat slaat gemakkelijk aan, doordat dit weefsel niet rechtstreeks in contact staat met de bloedsomloop en dus niet of nauwelijks te maken krijgt met het afweerapparaat. De afgelopen tientallen jaren is de prognose van deze operatie enorm verbeterd, zelfs in de gevallen waarbij zich bloedvaten in het hoornvlies hebben gevormd. Met behulp van weefseltypering kunnen nu de eigenschappen van het donor- en het ontvangerweefsel nog beter op elkaar worden afgestemd.

Een troebeling van de lens kan worden verholpen door de inhoud van de lens te verwijderen en te vervangen door een plastic kunstlens. Evenzo kan een troebel geworden glas-

achtig lichaam worden vervangen door een heldere olie. In deze gevallen is er natuurlijk geen sprake van transplantatie in de strikte betekenis van het woord.

Het netvlies met zijn staafjes en kegeltjes kan evenmin als andere hersendelen met succes worden getransplanteerd. Vooralsnog zijn er geen experimentele ontwikkelingen die beloften inhouden voor de toekomst. Recente onderzoeken met het transplanteren van cellen van de pigmentlaag, al of niet in combinatie met zogenaamde groeifactoren, lijken echter de komende jaren wel uitzicht te bieden op herstel van gedegeneerde en slecht functionerende staafjes en kegeltjes. Op die manier zou een defecte pigmentlaag kunnen worden hersteld. De beruchte ouderdomsdegeneratie van de gele vlek zal dan misschien toch behandelbaar worden.

Zien en ziel

De vooruitgeschoven hersencellen in het netvlies zorgen ervoor dat een gezond oog de buitenwereld haarscherp kan waarnemen. De heldere delen van het oog staan de beeldvorming allerminst in de weg. De doorzichtige weefsels laten zich door de oogarts goed inspecteren en bieden hem de mogelijkheid de oogzenuw en de conditie van de fijn vertakte bloedvaatjes in het netvlies zomaar te beoordelen. In feite kan de oogarts een stukje in de hersenen kijken. Als wij dan nog bedenken dat zeven van de twaalf hersenzenuwen betrokken zijn bij de werking van het oog en bij stoornis dus problemen met het zien zullen geven, dan kan men zich voorstellen dat aan het oog ook letterlijk een groot deel van onze ziel te spiegelen valt.

Bronvermelding illustraties

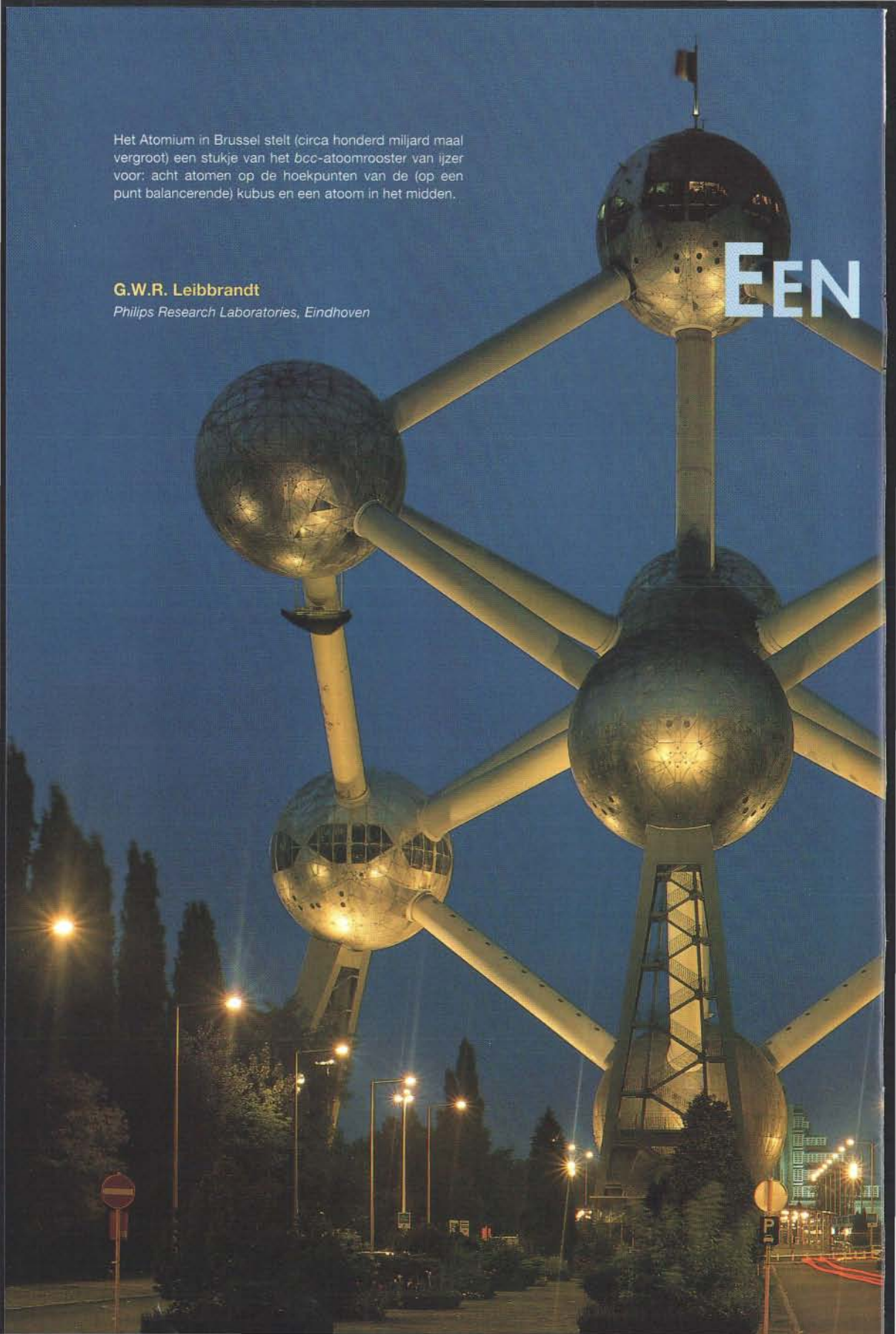
Stichting hulpmiddelenvoorziening voor blinden en slechtzienden, Utrecht: 2
Laservision Instruments BV, Breukelen: 8, 9 en 10
De overige foto's bij dit artikel zijn afkomstig van het IOI en werden verzorgd door de fotografen N.C.M. Bakker en A.A. Put.

Het Atomium in Brussel stelt (circa honderd miljard maal vergroot) een stukje van het bcc-atoomrooster van ijzer voor: acht atomen op de hoekpunten van de (op een punt balancerende) kubus en een atoom in het midden.

G.W.R. Leibbrandt

Philips Research Laboratories, Eindhoven

EEN



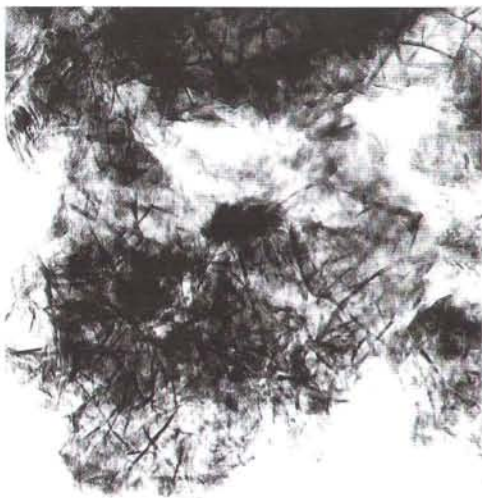


ONGELOOFLIJK DUN LAAGJE

OPPERVLAK DIEPGAAND GEANALYSEERD

Bestudering van dunne materielagen vormt een onderzoeksgebied op zich; die lagen zijn te dik voor de oppervlaktefysica en te dun voor de fysica van de vaste stof. Het is een terrein met z'n eigen fysische en chemische processen en met vele toepassingen in de techniek. Om door te dringen in deze wereld van lagen van een tiental atomen dik, maken onderzoekers gebruik van allerlei vormen van ionenverstrooiing. Ooit gebouwd voor kernfysische experimenten, bewijzen deeltjesversnellers nu hun nut voor de studie van bijvoorbeeld dunne platinalagen, legeringslagen van platina en ijzer, dunne ijzeroxiden en combinaties daarvan.

Onder een *dunne laag* verstaan we elke laag vanaf een dikte van slechts een atoom (ruwweg 0,2 nanometer, een nanometer is een miljardste meter) tot vele micrometers dik. Zo'n laag kan van alles zijn: metaal, supergeleidend keramiek of metaaloxide. Dunne lagen kunnen niet op zichzelf bestaan en zitten vrijwel altijd op iets anders. De ondergrond noemen we het *substraat*.



1

Onderzoek van zeer dunne lagen vormt een grote uitdaging. Als ze extreem dun zijn, niet dikker dan drie à vier atomen, kunnen we lagen nog bestuderen met veel gangbare technieken voor oppervlakteonderzoek. Daaronder worden ze iets dikker en betreden we een gebied dat veel moeilijker toegankelijk is.

In die nog altijd superdunne lagen vinden verschijnselen plaats die het onderzoeken meer dan waard zijn. Er ontstaan materiaalstructuren die nergens anders voorkomen. Tijdens de groei van een laag verlaten atomen hun posities en nemen weer andere posities in. Hoe gaat dat, welke uitwerking heeft dat op de groeisnelheid, speelt het een rol bij corrosie? Dit soort vragen en fenomenen zijn niet alleen uit wetenschappelijk oogpunt interessant, ze zijn ook van belang voor uiteenlopende technische toepassingen als katalyse, magneto-optische recording en micro-elektronica.

De meeste technieken voor oppervlakteonderzoek maken gebruik van elektronen. Die elektronen kunnen niet verder dan enkele atoomlagen ongehinderd in een oppervlak doordringen. Wat dieper zit, blijft eenvoudig onzichtbaar. Hoogenergetische ionen daarentegen kunnen informatie meenemen van een diepte van ettelijke duizenden atomen. Daartoe versnellen we ionen in een deeltjesversneller, zoals een Van de Graaff-generator, en schieten ze op een preparaat. Een klein deel van deze ionen zal botsen met atomen uit de bovenste atoomlagen en de gebotste deeltjes worden gedetecteerd (zie Intermezzo). Ellipsometrie, waarbij de reflectie van gepolariseerd licht door het oppervlak wordt bestudeerd, biedt met een dieptebereik van een paar honderd atoomlagen ook mogelijkheden.

Keerzijde is in beide gevallen dat je niet nauwkeurig kunt aangeven hoe diep in de laag de botsingen of de lichtreflectie optreden: de diepteresolutie is gering. Dat probleem is te ondervangen door in een meetsysteem naast elkaar botsingsexperimenten met snelle ionen, ellipsometriemetingen en op elektronen gebaseerde experimenten uit te voeren. De resultaten kunnen vervolgens op een slimme manier met elkaar worden gecombineerd en geven dan een goed beeld van een dunne laag. Op deze manier zijn groei, samenstelling en struc-

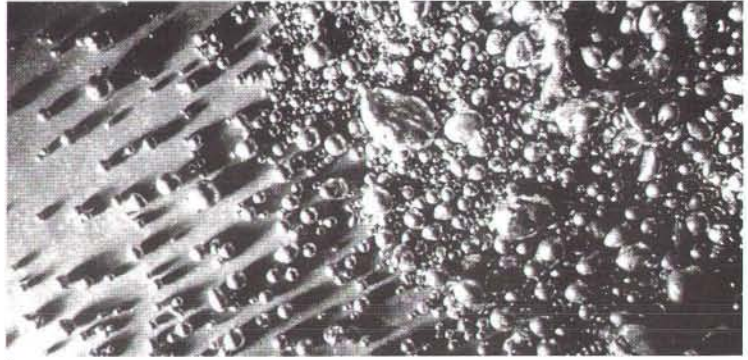
1. Bij de ontwikkeling van katalysatoren streeft men naar een groot katalysatoroppervlak. Slechts het oppervlak van de kristallen speelt een belangrijke rol bij het stimuleren van reacties. In deze foto van een koper(II)oxide-katalysator bedraagt de vergrotingsfactor ongeveer 100.000.

2. Een nieuwe auto ondergaat een elektrolytische behandeling. Deze onderdompeling moet de auto de nodige weerstand tegen corrosie (roestvorming) geven. Bij corrosie zijn niet alleen het metaaloppervlak en zuurstof betrokken, maar bijvoorbeeld ook water. De Utrechtse onderzoekers hebben alleen de reactie tussen zuurstof en metaaloppervlakken bekeken.



2

3. Een van de belangrijkste edelmetalen is platina. Het is niet alleen een prachtig materiaal voor de edelsmid, maar is ook zeer gewild als elektrode-materiaal en katalysatorbestanddeel.



3

tuur van lagen met een dikte van slechts één atoom tot dikten van vele tientallen atomen nauwkeurig te bestuderen.

Onderzoekers van de Universiteit Utrecht hebben met succes deze combinatie van meet-technieken gebruikt bij het onderzoek van de groei en structuur van dunne platinalagen en menglagen van platina en ijzer op een ijzer-substraat. Ook bestudeerden ze de groei van oxidelagen op ijzeroppervlakken, al dan niet gemengd met platina. Voordat we onze aandacht richten op het uitgevoerde onderzoek, laten we enkele terreinen de revue passeren waar kennis van dunne lagen van pas komt.

Katalyse

Veel metalen bezitten katalytische eigenschappen. Dat wil zeggen dat het metaaloppervlak chemische reacties selectief kan bevorderen in een mengsel dat in contact staat met het oppervlak. Een katalysator wordt daarom zo gemaakt dat hij een zo groot mogelijk effectief oppervlak heeft (zie afb. 1). Vanwege de complexiteit van dit soort oppervlakken wordt vaak onderzoek gedaan in sterk vereenvoudigde, 'ideale' omstandigheden.

De industrie gebruikt ijzer als katalysator voor ondermeer de bereiding van ammoniak en voor de productie van grote alkaanmolekulen uit koolstofmonoxide en waterstof, bijvoorbeeld bij de synthese van benzine uit steenkool. In beide processen heeft het oppervlak van de ijzerkatalysator de neiging vervuild te raken. De oorzaak kan liggen in de vorming van oxiden of de afzetting van koolstof. Oplossingen voor dit probleem worden gezocht in de 'veredeling' van het ijzer, bijvoorbeeld door toevoeging van platina.

Platina is op zichzelf een heel belangrijke katalysator. Samen met rhodium vormt het bijvoorbeeld het actieve bestanddeel van de moderne uitlaatgaskatalysator in auto's. Legeringen van ijzer en platina bezitten katalytische eigenschappen die sterker zijn dan die van platina of ijzer afzonderlijk.

Alle katalytische processen spelen zich af in de bovenste atoomlagen van het katalytische materiaal. Voor een fundamenteel begrip van deze processen is daarom onderzoek naar het gedrag van de atomen in zulke dunne lagen nodig.





4

Oxydatie en corrosie

Corrosie is de erosie van vaste stof op atomaire schaal door de chemische inwerking van de omgeving. In de praktijk bestaat die omgeving vaak uit een mengsel van zeer uiteenlopende gassen en soms vloeistoffen. Denk maar aan onze eigen atmosferische omgeving. Om een beter begrip van corrosie te krijgen, worden sterk vereenvoudigde systemen bestudeerd. Met name de inwerking van zuurstof (oxydatie) op metalen zoals ijzer is veel onderzocht.

Reeds vanaf de jaren veertig hebben onderzoekers veel aandacht geschonken aan de oxydatie van ijzer door zuivere zuurstof bij atmosferische druk. Vooral bij hoge temperatuur kunnen oxidelagen ontstaan met een dikte van vele micrometers. Deze dikkere lagen zijn uitvoerig onderzocht. Zo was het de vraag of ijzeratomen door het oxide naar buiten bewegen om met het zuurstof te reageren, of dat zuurstofatomen naar binnen bewegen, of wellicht beide. Een helder antwoord op deze vraag vonden de onderzoekers echter niet. Het bleef onduidelijk of de zuurstof alleen via barstjes in de laag of door de hele laag beweegt.

Eind jaren zestig maakten nieuwe technologieën het mogelijk om oppervlakken bij zeer lage drukken te onderzoeken. Nu kon de wisselwerking tussen zuurstof en ijzeroppervlakken bij drukken van 10^{-4} Pa (een miljardste at-



5

mosfeer) of nog minder worden onderzocht. De processen gaan dan natuurlijk veel trager. Zo kon de allereerste inwerking van zuurstofmolekulen op een ijzeroppervlak worden bestudeerd, evenals de vorming van de eerste paar atoomlagen van het groeiende oxide. Hoe het proces zich daarna voortzet, bleef echter grotendeels onzichtbaar voor de oppervlaktegevoelige instrumenten van de onderzoekers.

Pure oxydatie van ijzer tot FeO of Fe_2O_3 komt weinig voor. We zien het hooguit optreden in bijvoorbeeld turbines, aan reactorwan-

4 en 5. Platina wordt zowel gewonnen in open mijnen als in onderaardse mijnen. De jaarproductie bedraagt meer dan honderdduizend kilogram. Zo'n dertigduizend kilogram vindt z'n bestem-

ming in de tandheelkunde en ruim vijftigduizend in de elektronica. Inmiddels weet men ook al grote hoeveelheden platina terug te winnen uit gebruikte (uitlaatgas)katalysatoren en computers.

6. Kennis van zeer dunne lagen kan een grote steun zijn bij het ontwikkelen van bijvoorbeeld magnetisch-optische schijven. Onderzoekers weten steeds meer informatie op een schijf op te slaan.



6

Multilagen

In nieuwe materialen voor magnetische gegevensopslag spelen dunne lagen een belangrijke rol. Het gaat om stapelingen van lagen van afwisselend magnetisch metaal, zoals kobalt of ijzer, en niet-magnetisch metaal, zoals platina of palladium. Afbeelding 7 laat zien dat het hier lagen van enkele atomen dik betreft. Uit recent onderzoek blijkt dat zulk materiaal veelbelovend is om gegevens optisch te schrijven en te lezen. Het kan geschikt zijn voor bijvoorbeeld CD-datasystemen.

We hebben drie belangrijke voorbeelden gezien van ogenschijnlijk totaal verschillende, technische toepassingsgebieden, waarvoor behoefte is aan onderzoek van dezelfde soort dunne lagen. In alle gevallen vormt het bestuderen van gesimplificeerde laboratoriumsystemen een goed en zinvol uitgangspunt voor het onderzoek. Zo'n vereenvoudigd systeem bestaat uit een geïdealiseerd oppervlak – dat van een éénkristal – en uit een geïdealiseerde omgeving, waaruit vrijwel alle gassen zijn weggepompt: *ultrahoogvacuüm*. We zullen wat dieper op deze twee begrippen ingaan.

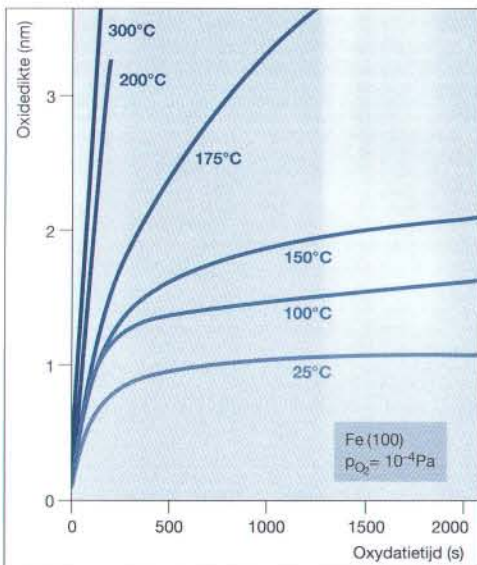
den en in leidingen waar zuurstof het enige reactieve gas in de omgeving is. Een vorm van corrosie die we in de praktijk veel tegenkomen, is roest. Dit wordt nogal eens verward met oxydatie. Roestvorming is echter de vorming van ijzerhydroxide (FeOOH) en vereist niet alleen de aanwezigheid van zuurstof maar ook van water en wellicht nog andere gassen. Dit proces heeft z'n eigen chemie. Er zijn overeenkomsten, en in die zin helpt kennis van oxydatie ook voor het begrip van roest. Er zijn echter ook belangrijke verschillen.

Eénkristallen

In een metaal nemen de atomen ten opzichte van elkaar vaste posities in en vormen zo een kristalrooster. In ijzer zijn de atomen gerangschikt volgens een kubisch rooster, waarbij de atomen op de hoekpunten en in het middelpunt van de kubussen zitten (afb. 8). Dit noemen we een *bcc*-stapeling (*body-centered cubic*, lichaamsgecentreerde kubische stapeling).

We kunnen in een kubisch rooster vlakken herkennen, die de kubussen op regelmatige wijze doorsnijden. De richting van een vlak beschrijft men aan de hand van de manier waarop het de drie assen van de kubus doorsnijdt. Als langs de eerste as een kubus door drie evenwijdige vlakken wordt doorsneden, langs de tweede as door een en langs de derde door geen, dan spreken we van een (310)-vlak. De bovenkant van de netjes gestapelde kubussen, komt overeen met een (100)-vlak.

Gewoonlijk is een stuk materiaal een verzameling van kristallen die willekeurig aan elkaar zitten. We noemen dat polykristallijn. Onder speciale omstandigheden kunnen we echter een stuk materiaal maken, waarin alle metaalatomen zijn gerangschikt volgens een rooster dat doorloopt zonder onderbreking. Dit is mono- of éénkristallijn materiaal en zo'n preparaat noemen we een *éénkristal*.



9

7. Deze elektronenmicroscopieopname toont een dwarsdoorsnede van een Pt/Co-multilaagstructuur die geschikt is voor magnetische opslagdoeleinden. De kobaltlagen zijn slechts twee atomen dik.

8. In een ijzerkristal bevinden zich acht ijzeratomen op de hoekpunten van een kubus en een atoom in het midden daarvan. Net zoals in een keurig aangeplant bos, kunnen we in een rooster tal van regelmatigheden ontdekken. Zo zijn er veel vlakken denkbaar die iedere eenheidscel op de zelfde wijze aansnijden.



7

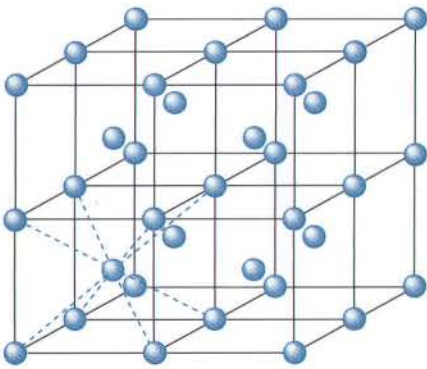
9. De snelheid waarmee oxidelagen op Fe(100) groeien, varieert met de temperatuur. De ellipsometriemethode stelt je in staat de dikte van superdunne oxidelagen te meten tijdens het aangroeien van de laag. Hoe hoger de temperatuur, hoe sneller het oxydatieproces.

10. In het midden van een ultrahogvacuümkamer bevindt zich het éénkristal in een houder. Daar kan het worden gebombardeerd met allerlei stralen en deeltjes.



10

Veel van het fundamentele oppervlakteonderzoek wordt uitgevoerd met zeer schone ééncristaloppervlakken. Deze oppervlakken zijn dermate vlak gepolijst, dat ze zelfs op atomaire schaal praktisch glad zijn. Ééncristaloppervlakken bieden het voordeel boven meer realistische polykristallijne oppervlakken, dat de uitgangspositie van de atomen goed bekend is en dat de atoomposities over het hele oppervlak gelijkwaardig zijn. Bovendien maakt, zoals we verderop zullen zien, de perfecte roosteropbouw van het materiaal het mogelijk om met ionenbundels zeer oppervlaktegevoelig te meten.



8

Een onmisbaar gegeven is de oriëntatie van het oppervlak. We kunnen een kristal in diverse richtingen splijten. Een kristaloppervlak beschouwen we als zo'n breukvlak en de oriëntatie van het oppervlak is dan de denkbeeldige richting waarin het kristal is gekleefd. Bij het uitgevoerde onderzoek beperkten we ons tot het ijzeroppervlak dat in de richting (100) is georiënteerd, het bovenzvlak van de samenvallende kubussen. De ijzeratomen aan het Fe(100)-oppervlak vormen dus een vierkant rooster.

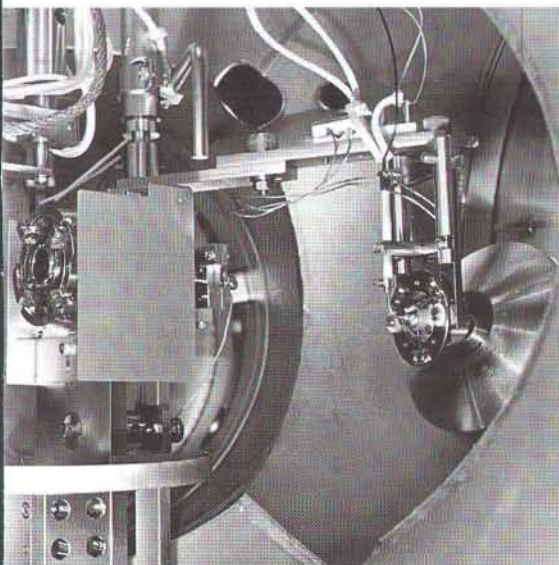
Experimenten op schone oppervlakken gebeuren in stalen ketels waaruit vrijwel alle atmosferische gassen zijn weggepompt. Op die manier worden zogenaamde ultrahoogvacuümcondities bereikt. De druk in *ultrahoogvacuüm* (UHV) is ongeveer 10^{-8} Pa. In zo'n omgeving is de verstoring van de te bestuderen processen door de omgevingsgassen verwaarloosbaar.

Afbeelding 14 toont het Utrechtse UHV-oppervlakte-onderzoeksapparaat Octopus, waarin een groot aantal meetmethoden is bijeengebracht. Daardoor leent dit apparaat zich bij uitstek voor de gedetailleerde bestudering van dunne lagen waaraan, zoals we eerder zagen, een grote behoefte bestaat. We zullen eens kijken welke kennis ons het onderzoek zoal heeft opgeleverd.

Dunne oxiden op ijzer

Als een ijzer-ééncristaloppervlak zoals het genoemde Fe(100)-oppervlak staat blootgesteld aan zuivere zuurstof met een druk van 10^{-4} Pa, gedraagt het ijzer zich in eerste instantie zeer reactief. De bovenste atoomlagen van het ijzer reageren met de zuurstof en er ontstaat een laag ijzeroxide. Met ellipsometrie kunnen we de aangroei van het oxide continu meten (afb. 9). Het blijkt dat bij kamertemperatuur de oxidelaag groeit tot hij uiteindelijk niet veel dikker is dan een nanometer. Die dikte komt overeen met ongeveer zes atoomlagen. Bij temperaturen boven 175°C kunnen de oxidelaag veel dikker worden.

Met kernreactieanalyse (NRA, zie Intermezzo) bepaal je het aantal zuurstofatomen in de oxidelaag. Het aantal ijzeratomen in de oxiden wordt vastgesteld met ionenverstrooiing (zie Intermezzo). Met deze methoden kunnen we de ijzer-zuurstofverhouding in de laag be-



palen met een nauwkeurigheid van ongeveer vijf procent. Op deze manier bleek verrassend-derwijs dat de verhouding tussen ijzeratomen en zuurstofatomen in de oxiden 0,95:1,00 is, ofwel dat de laag een gemiddelde samenstelling $\text{Fe}_{0,95}\text{O}$ heeft. In lagen met dikten tot vijf nanometer blijkt dat de gemeten samenstelling onafhankelijk is van de dikte en de groeitemperatuur. Het resultaat lijkt in tegenspraak met eerder onderzoek, dat uitwees dat Fe_2O_3 het voornaamste chemische bestanddeel is. Dat onderzoek zegt echter niets over het totale aantal ijzer- en zuurstofatomen. Het zou kunnen zijn dat in een Fe_2O_3 -rooster neutrale, ongebonden ijzeratomen liggen ingebed. Ionenbundelverstrooiing geeft hier informatie die we niet kunnen verkrijgen met meetmethoden die op elektronen zijn gebaseerd.

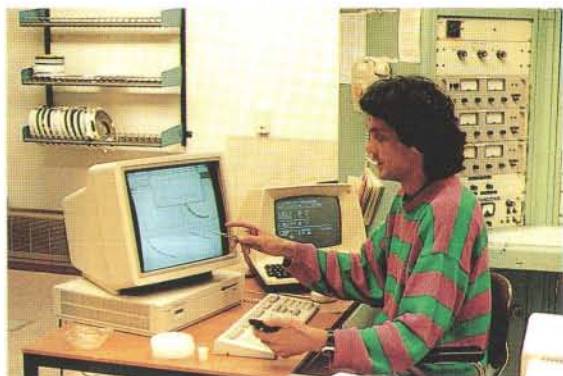
Groeiwijze

Nu we de samenstelling van de oxidelaag kennen, willen we achterhalen hoe de groei van het oxide verloopt. Hierbij maken we gebruik van het feit dat je met NRA alleen ^{18}O waarneemt (zie Intermezzo). Hiertoe laten we een oxidelaag in twee stappen groeien bij een temperatuur boven 175°C . Bij de hogere temperatuur ontstaat een wat dikkere oxidelaag. Eerst stellen we het oppervlak bloot aan het natuurlijke zuurstofisotoop ^{16}O , totdat een oxidelaag van ongeveer twee nanometer is gevormd. Vervolgens laten we nog eens twee nanometer ijzeroxide ontstaan, maar nu met het isotoop ^{18}O . De zo verkregen laag verwijderen we nu stapsgewijs door het oppervlak scherend te bekogelen met trage argonionen. Uit NRA-metingen blijkt dat dan als eerste het oxide dat ^{18}O bevat, wordt verwijderd. Het laatst gevormde oxide zit dus bovenop. Als we de isotoopvolgorde omdraaien, blijkt dat opnieuw. Kennelijk bewegen de ijzeratomen door de al gevormde oxidelaag naar de buitenkant en beweegt zuurstof niet in omgekeerde richting.

We hebben nu een dusdanig compleet beeld van de oxydatie verkregen, dat de metingen een toetsing zijn van de gangbare oxydatietheorie. Voor het allereerste begin van oxydatie was deze toetsing tot nu toe onmogelijk. De door de theorie voorspelde aangroeisnelheid van het oxide blijkt verrassend goed overeen te stemmen met de ellipsometrieresultaten uit afbeelding 9.

11 en 12. Om lichte ionen te versnellen, maken de Utrechtse onderzoekers gebruik van een Van der Graaff-generator (12). Als een oppervlak met deze deeltjes wordt bestookt, worden diverse deeltjes

terugverstrooid. Detectoren nemen deeltjes waar en geven metingen door aan computers. Op het beeldscherm kan de onderzoeker zien hoe de energieverdeling van de terugverstrooide ionen is.

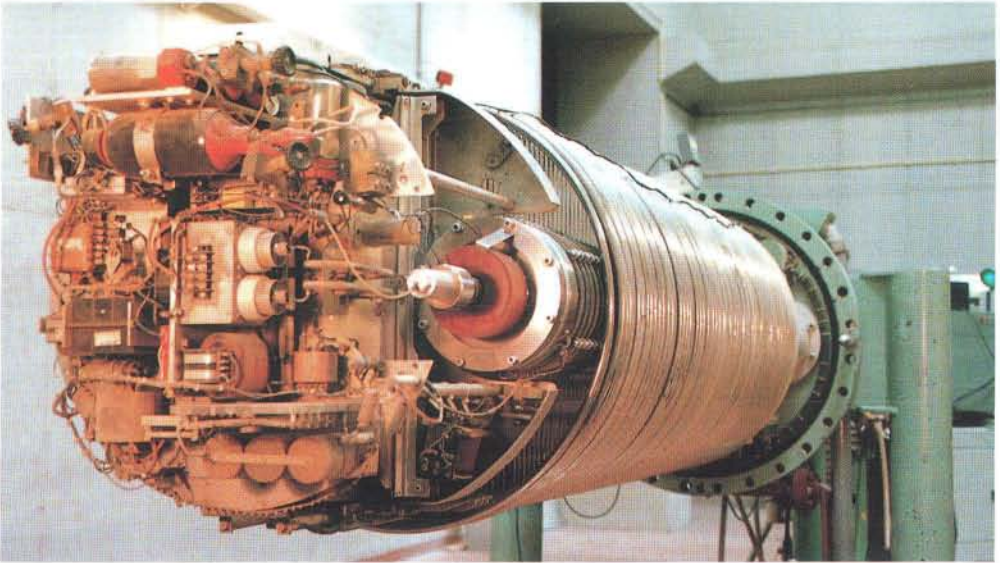


11

13. Ammoniaaksynthese vindt nog steeds plaats volgens het Haber-Boschprocédé, dat in het begin van deze eeuw is ontwikkeld. Inzicht in de samenstelling van het katalysatoroppervlak kan leiden tot efficiëntere omzettingsprocessen.



13



12

Platinalagen op ijzer

We zijn benieuwd welke invloed de aanwezigheid van platina-atomen op het ijzeroppervlak heeft op de wisselwerking van dat oppervlak met zuurstof. Bij blootstelling aan zuurstof blijkt dat de aanwezigheid van platina het oxydatieproces remt. Dit is niet zo verwonderlijk, aangezien platina zelf niet wordt geoxydeerd en de ijzeratomen nu moeite moeten doen om de zuurstof te bereiken. Wel verrassend is, dat een gesloten platinalaag van twee of drie atoomlagen dik het ijzer niet blijvend tegen oxydatie beschermt: hoewel langzaam, vindt het ijzer toch zijn weg door de platinalaag, zelfs bij kamertemperatuur. Als gevolg van de oxydatie ontstaat een gelaagde structuur. Aan het oppervlak is er een ijzeroxide-laag, daaronder bevindt zich de platinalaag en daar weer onder het niet-geoxydeerde ijzer.

Volgens de oxydatietheorie zou de oxydatie bij hogere temperaturen moeten stoppen. Het platina zorgt er echter voor dat dat model wordt omzeild. De oxidegroei kan blijkbaar ook op andere manieren plaatsvinden, bijvoorbeeld door aangroei aan het oxide-metaalgrensvlak. Aan de voorwaarden van de theorie is dan niet meer voldaan. Onder sommige omstandigheden zorgde platina zelfs voor een snellere oxydatie dan zonder platina optrad.



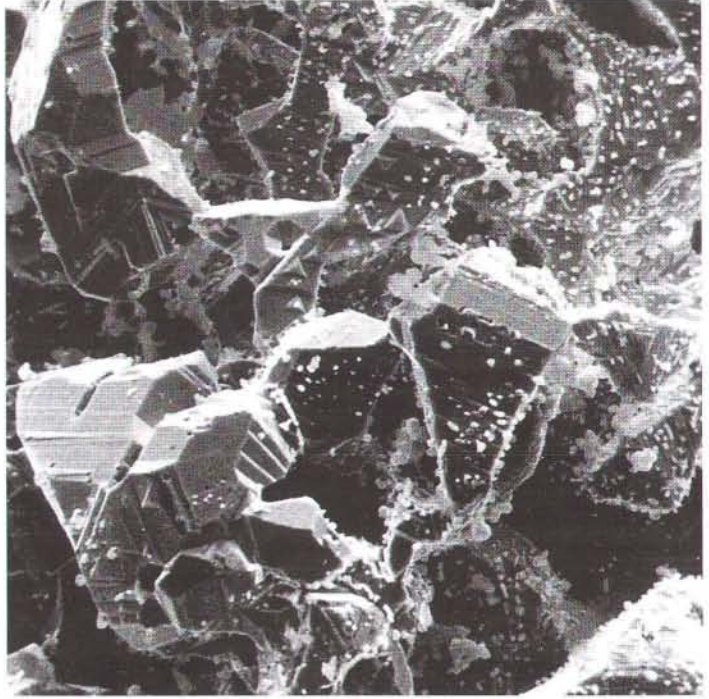
Ionenverstrooiing

Rutherford backscattering-spectrometrie

Als protonen en heliumkernen met hoge energie (meer dan respectievelijk 100 keV en 400 keV) op een vaste stof botsen, botsen deze kernen in feite met de atoomkernen van de vaste stof. Botsende atoomkernen voldoen, evenals biljartballen, aan de wetten van behoud van energie en impuls. De ionen uit de Van de Graaff-generator hebben allemaal dezelfde energie. Bij *Rutherford backscattering-spectrometrie* (RBS) meten we de energie van de terugverstrooide ionen. Aan de hand van zo'n meting kunnen we de aanwezige elementen in een preparaat identificeren. Deze methode is vooral geschikt voor het detecteren van relatief zware elementen, zoals platina, op het oppervlak van een lichter element, zoals ijzer.

In de schaduw

De methode van ionenverstrooiing kan aanzienlijk worden verfijnd, door gebruik te maken van het feit dat atomen in een éénkristal perfect in rijen (kristalassen) gerangschikt zijn. Als we de ionenbundel uit de versneller exact langs zo'n kristalrichting (afbeelding I-3), botsen de ionen vrijwel alleen maar met atomen direct aan het oppervlak. Het eerste atoom op de kristalrij werpt als het ware een schaduwkegel en schermt de atomen in diepere lagen af. Die schaduwwerking is niet perfect, door de onvermijdelijke warmtebeweging van de atomen in het preparaat. De zaak wordt sterk verbeterd door ook de detector langs een kristalrichting te richten. Het bovenste atoom langs de as blokkeert dan de ionen die terugverstrooid zijn aan dieper gelegen atomen. De gevoeligheid van de meetmethode voor deeltjes

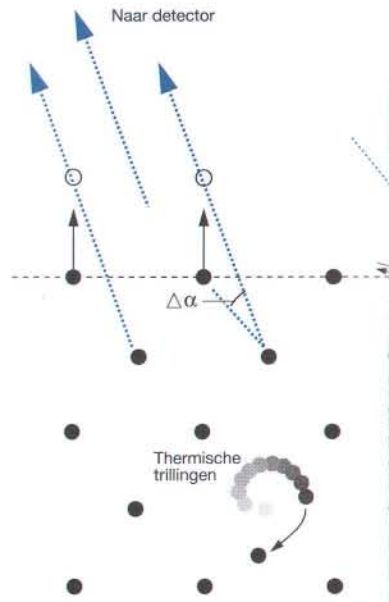


I-1

die door atomen in de top laag worden terugverstrooid, is dan een stuk groter.

Ijzeratomen in een ongeordende laag boven op een kristallijne ondergrond, zullen volledig zichtbaar zijn voor ionenbundel en detector, naast de eerste geordende atoomlaag ijzer. Zo'n ongeordende laag kan een oxidelaag bovenop het éénkristaloppervlak zijn. Zo kan het aantal ijzeratomen worden bepaald, dat uit het kristaloppervlak is geconsumeerd om het oxide te vormen. Deze methode werkt even goed voor lagen van één atoom dik als voor lagen die meer dan honderd atomen dik zijn.

Deze methode geeft ook waardevolle informatie als om wat voor reden dan ook, de atomen op het oppervlak zich anders gaan rangschikken. Dan zullen de oppervlakte-atomen de onderliggen-

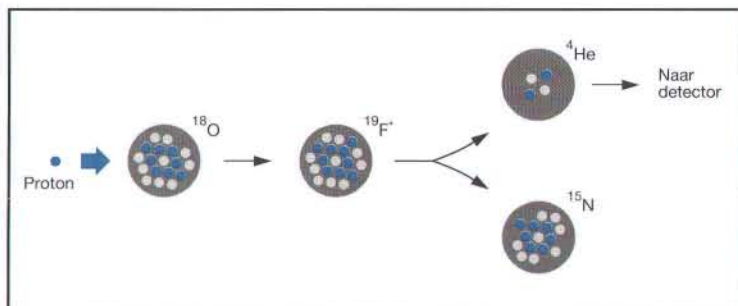


I-3

I-1. Gewoonlijk bestaan metalen uit polykristallijn materiaal. De oppervlakken in deze katalysator zijn allemaal verschillende breukvlakken van metaalkristallen. Onderzoekers gebruiken oppervlakken van eenkristallen om meer te weten te komen van de reacties die aan metaaloppervlakken optreden.

I-2. Een proton met een energie van 1760 keV botst op een ^{18}O -aankern en een ^{19}F -kern wordt gevormd. Deze kern valt uiteen in een ^{15}N -kern en een ^4He -kern. Deze ^4He -kern kan worden gedetecteerd.

I-3. Zo treedt ionenverstrooiing op als zowel de bundel als de detector zijn uitgelijnd langs een kristal. Door de schaduwwerking van de oppervlakteatomen worden de diepere lagen niet waargenomen. Als de atomen aan het oppervlak naar buiten zijn verplaatst, verandert de hoek waaronder de tweede laag wordt afgeschaduwd.



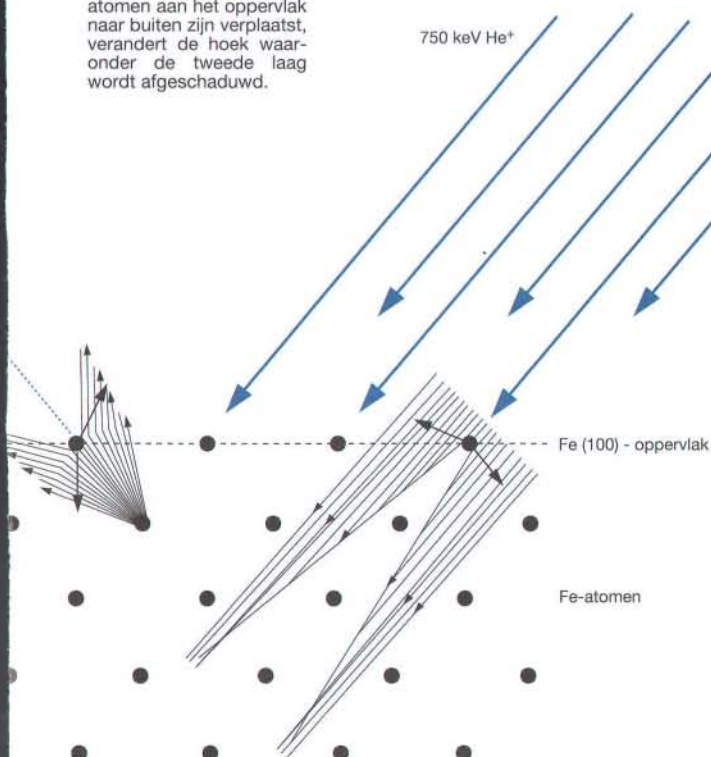
I-2

de atomen onder een andere hoek in de schaduw stellen. We kunnen deze hoek meten en krijgen zo informatie over de nieuwe positie van die atomen aan het oppervlak. Als de afstand tussen de eerste en tweede atoomlaag groter is

dan de laagafstand in het substraat, wordt deze hoek kleiner, zoals afbeelding I-3 laat zien. Als een hele oppervlaktelaag een andere structuur heeft, kun je op deze manier gemiddelde informatie over die hele laag krijgen.

Kernreacties

Om het lichte element zuurstof te detecteren op het zwaardere ijzer, wordt in Utrecht gebruik gemaakt van specifieke kernreacties (NRA). Hiertoe wordt de preparatie van het oppervlak uitgevoerd met het zuurstofisotoop ^{18}O . Dit isotoop heeft dezelfde chemische eigenschappen als zijn alledaagse tegenhanger ^{16}O . ^{18}O vertoont echter onder beschieting met versnelde protonen een interessante eigenschap die we handig kunnen gebruiken. Als een proton met een energie van rond de 1760 keV op een ^{18}O -kern botst, zullen niet alle protonen verstrooid raken volgens de wetten van het biljartspel. Een deel zal een kernreactie aangaan, waarbij een proton en een ^{18}O -kern eerst smelten tot een ^{19}F -kern, die vervolgens een ^4He -kern met hoge energie uitzendt (afbeelding I-2). Heliumkernen kunnen probleemloos worden gedetecteerd en de hoeveelheid waargenomen heliumkernen wordt vervolgens omgerekend tot het aantal ^{18}O -atomen aan het oppervlak.



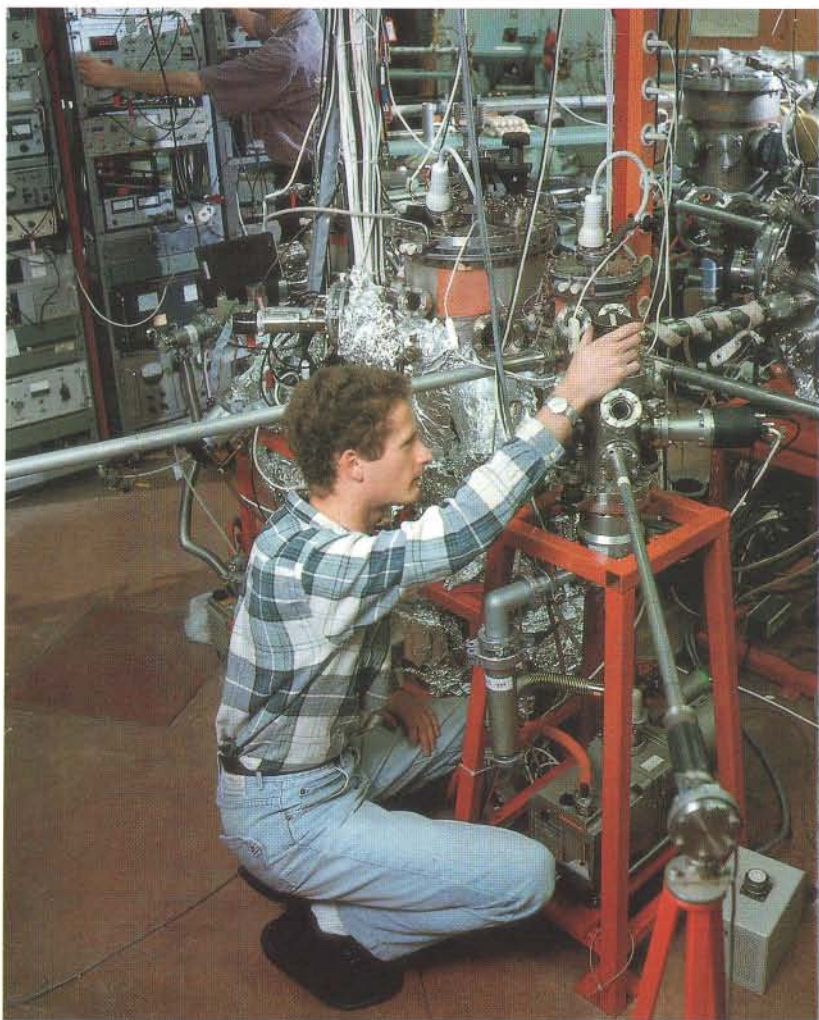
Legeringslagen

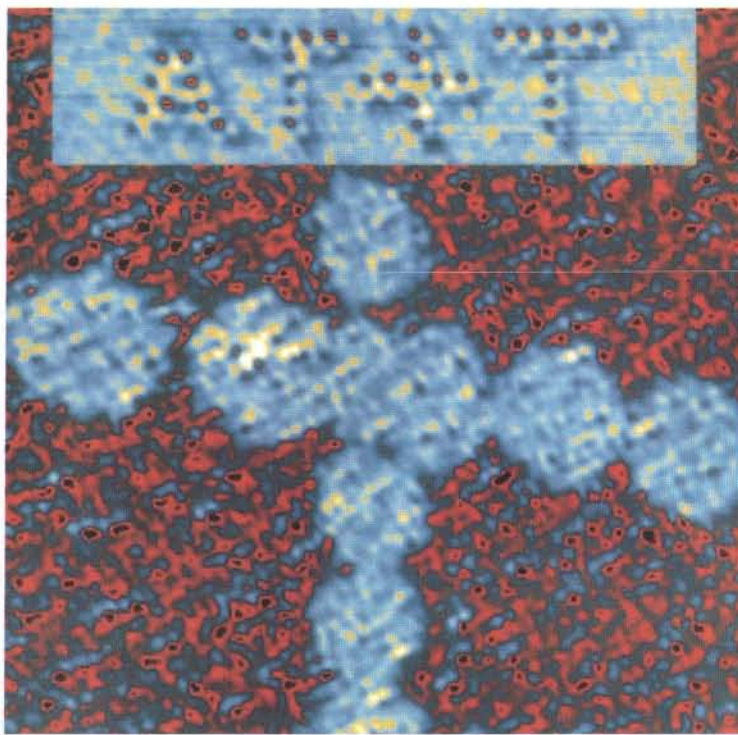
Elk metaal heeft een specifiek en uniek rooster waarin de atomen zich ordenen. Zo verschilt meestal de afstand tussen de metaalatomen, afhankelijk van de grootte van de betreffende atomen. Als een dunne laag van metaal B groeit op een geordend oppervlak van metaal A, richten de atomen van B zich soms naar de al aanwezige orde. Het kristalrooster loopt van het substraat aan het grensvlak foutloos door in de dunne laag. Voor het grensvlak is dit de toestand met de laagste energie. Als de laag van metaal B dikker wordt, zal het

op zeker moment energetisch gunstiger zijn als B zijn eigen kristalstructuur aanneemt. Aan het A-B-grensvlak ontstaan nu plaatsen waar het rooster niet meer doorloopt. Zulke plaatsen noemen we roosterfouten.

Er zijn in de loop der jaren tal van grensvlakken tussen twee metaalroosters onderzocht. Uit ionenverstrooiing blijkt dat platinalagen op Fe(100)-oppervlakken zich volgens de bovenstaande beschrijving gedragen. Over dunne lagen van legeringen (mengsels van twee of meer elementaire metalen) op een substraat is veel minder bekend. Daarom is het spannend om daar de aandacht op te richten.

14. Het ultrahogvacuüm-systeem Octopus is in gebruik bij de vakgroep Atoom- en Grenslaagfysica van de Universiteit Utrecht. Het apparaat bestaat uit een aantal UHV-kamers die via buizen met elkaar zijn verbonden en die met kleppen kunnen worden afgesloten. Zonder in contact te komen met gasen uit de lucht, kunnen de preparaten via die buizen tussen de kamers worden getransporteerd om op verschillende manieren te worden behandeld en bestudeerd. Een van de kamers staat aan het einde van een bundellijn van een 3 MV Van de Graaff-generator, die snelle ionen levert voor botsingsexperimenten.





15

15. Onderzoekers in de AT&T Bell Laboratories ontwikkelden een techniek waarmee zo'n zeven miljard bits op een vierkante centimeter kunnen worden opgeslagen. In tegenstelling tot conventionele magneto-optische technieken, gebruikten de onderzoekers geen lens maar een puntige optische vezel om met laserlicht op het materiaal te schrijven. Het opslagmedium bestaat uit dunne multilagen van platina en kobalt. De grote stippen hebben een werkelijke doorsnede van een micrometer. Het inzetje toont bij dezelfde vergroting de bits die zijn geschreven met de nieuwe techniek. De doorsnede van deze bits is ongeveer zestig nanometer.

Als we een ijzersubstraat met daarop een platinalaag van enkele atomen dik tot 350°C verhitten, gaan de atomen zo erg bewegen, dat de ijzer- en platina-atomen zich vermengen. De ontstane legeringslaag kunnen we onderzoeken met uitgelijnde ionenbundels. Het blijkt dat de laag geordend is, in tegenstelling tot wat we eerder bij de oxidelagen zagen. We kunnen dus niet stellen dat alle atomen in de laag zichtbaar zijn voor bundel en detector. De stapeling van de atomen in de laag is wel anders dan in het substraat. Daardoor kunnen we met enige kunstgrepen, waarbij bundel en detector achtereenvolgens langs een aantal zorgvuldig gekozen kristalassen worden gericht, toch bepalen hoeveel ijzeratomen er zijn geconsumeerd om de legeringslaag te vormen.

Uit de meetresultaten, aangevuld met informatie die we verkregen met elektronenspectroscopie, hebben we de conclusie getrokken dat we hier te maken hebben met een laag waarin platina-atomen en ijzeratomen in een een-op-eenverhouding voorkomen. Deze PtFe-legering is zo stabiel, dat we het prepa-



raat tot ongeveer 450°C moeten verhitten om de legering nog verder met ijzer te verdunnen. Met ionenverstrooiing kunnen we exact de structuur bepalen van deze legeringslaag die maar enkele atomen dik is. PtFe in vrije vorm heeft een *fcc*-structuur (*face-centered cubic*, vlakgecentreerde kubische stapeling). Net zoals bij de *bcc*-stapeling bevinden zich hier acht atomen op de hoekpunten van een kubus. In plaats van een atoom in het hart van de kubus, bevinden zich hier echter ook atomen op het midden van de kubusvlakken.

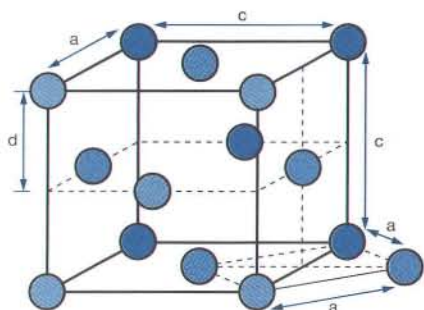
Afbeelding 18 toont duidelijk de verschillen tussen de kristalstructuren van PtFe en zuiver ijzer. Het bodemvlak van de legering met zijn vierkante symmetrie, kan doorgroeien op het bovenvlak van het ijzerkristal. Daarbij moet het natuurlijk rooster van de legering echter wel zo'n vijf procent worden uitgerekt. Legeringslagen tot een dikte van ongeveer vijf atomen, blijken zich volledig te voegen naar de vorm die het ijzersubstraat aangeeft. Ter compensatie trekt de legeringslaag zich in de richting loodrecht op het oppervlak samen.

De afstand tussen opeenvolgende atoomlagen kunnen we met ionenverstrooiing nauwkeurig bepalen. Die is verrassenderwijs groter dan de afstand tussen de atoomlagen in het onderliggende ijzer. Hoe kan dit kloppen met het samentrekken van de legeringslaag? Hier zit een addertje onder het gras. Nauwkeurige bestudering van afbeelding 18 leert, dat de afstand tussen de onderlinge atoomvlakken in

16. Op aarde reageren metaaloppervlakken zelden alleen maar met zuurstof, omdat de atmosfeer veel vocht en andere bestanddelen bevat. De spaceshuttle doorkruist op zijn vluchten een deel van de atmosfeer waar veel atomaire zuurstof voorkomt. Door de hoge snelheid van het voertuig, reageert zelfs een zilveroppervlak met de zuurstofatomen.



16



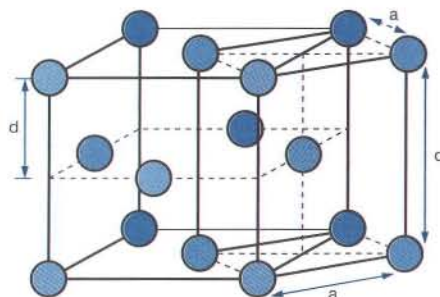
Pt

$$c = 0,3923 \text{ nm}$$

$$a = c/2 = 0,2774 \text{ nm}$$

$$d = c/2 = 0,1962 \text{ nm}$$

18a



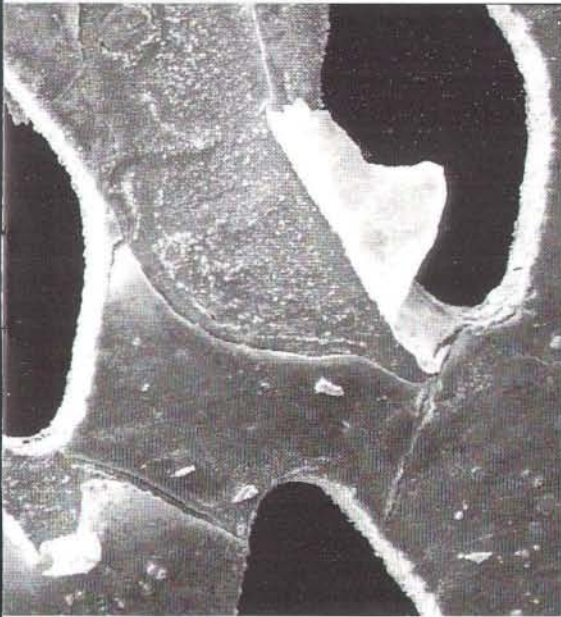
Pt Fe

$$c = 0,0,2719 \text{ nm}$$

$$a = 0,3722 \text{ nm}$$

$$d = c/2 = 0,1861 \text{ nm}$$

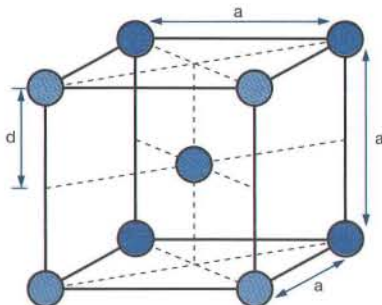
b



17

18. De kristalstructuur van vervormd PtFe verschilt van die van zuiver ijzer en zuiver platina. Als de structuur van de legering in de dwarsrichtingen iets wordt uitgerekt, kan het vierkant-symmetrische ondervlak doorgroeien op het eveneens vierkant-

symmetrische bovenzvlak van het ijzer. Omdat deze vervormde PtFe-legering slechts in zeer dunne lagen voorkomt, is het nog niet mogelijk om na te gaan welke specifieke posities ijzer- en platina-atomen in het legerings-rooster innemen.



α -Fe

$a = 0,2867 \text{ nm}$

$d = a/2 = 0,1434 \text{ nm}$

c

17. Tijdens de spaceshuttle vlucht STS-8 is het zilveroppervlak, hier te zien bij een 200-voudige vergroting, geoxideerd bij een temperatuur van 70°C . Door spanningen in

de oxidelaag breekt deze open als de dikte meer dan een halve micrometer bedraagt. Het schone oppervlak dat daarbij vrijkomt, kan weer reageren met zuurstof.

het PtFe-kristalrooster stukken groter is dan in ijzer. En deze grotere afstand is met zo'n veertien procent samengetrokken. We hebben dus een superdunne PtFe-laag gemaakt met een kristalstructuur die ergens halverwege *bcc* en *fcc* inzit. Zo'n structuur komt in vrije vorm niet voor.

Dubbelloops versneller

De beschreven resultaten tonen slechts een deel van de mogelijkheden bij het onderzoek van dunne lagen met snelle ionen. Met name het gebruik van versnelde zware ionen belooft nieuwe resultaten. Momenteel wordt Octopus uitgebreid met een koppeling aan een Tandem-Van de Graaff-versneller. Het versnellen van geladen zware atomen, zoals ijzer en bijvoorbeeld ook het nog veel zwaardere zilver, is de specialiteit van dat type versneller. Met deze extra mogelijkheden groeit Octopus verder uit tot een apparaat voor de bestudering van oppervlakken en dunne lagen dat uniek is in de wereld.

Bronvermelding illustraties

ZEFA, Amsterdam: pag. 102-103.

Vakgroep Fysische en Colloïdchemie, Universiteit Utrecht:

1.

Nedcar Production BV Born/John Baggen Fotografie, Geleen: 2.

Johnson Matthey, Londen, GB: 3, 4 en 5.

Philips, Eindhoven: 6 en 7.

Vakgroep Atoom- en Grenslaagfysica, Universiteit Utrecht:

10.

DSM, Geleen: 13.

AT&T Network Systems International, Hilversum: 15.

ESA/ESTEC, Noordwijk: 16, 17 (dr ir A. de Rooij).

De overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.

.. EEN SIGNAAL VAN DE AARDE ..

Op 13 april 1992, 's ochtends om tien voor half vier, werden veel mensen in Nederland, België, en Duitsland wakker geschud door trillingen van een aardbeving bij Roermond. Velen voelden trillingen die tientallen seconden aanhielden, hoewel de aardbeving zelf niet meer dan enkele seconden duurde. Seismologen stelden vast dat de aardbeving een magnitude van 5,7 op de schaal van Richter had. Zij constateerden bovendien dat de aardbeving op een diepte van ongeveer twintig kilometer ontstond en dat het gesteente zich daarbij over een oppervlak van ongeveer vijftien vierkante kilometer zo'n tien centimeter verplaatste. In dit artikel gaan we nader in op aardbevingen en wat seismogrammen ons daarover leren.

Brandweerlieden verwijderen de loszittende stenen van een schoorsteen die na de aardbeving bij Roermond op instorten staat. Er ontstond vooral schade aan oudere gebouwen, door afbrekende schoorstenen en aan gevoelige machines. De totale schade belooft ruwweg 200 miljoen gulden ofwel vier miljard frank.

Hanneke Paulssen en Torild van Eck

Vakgroep Geofysica, Faculteit Aardwetenschappen Universiteit Utrecht



AARDBEVINGEN



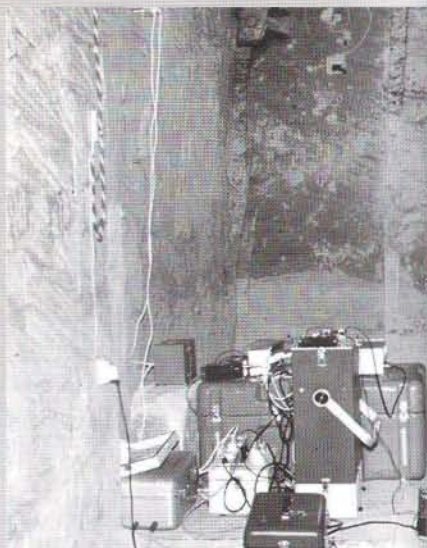
Een aardbeving is een snelle verplaatsing van gesteente aan weerszijden van een breuk. We kunnen het gesteente in de aardkorst in zekere zin beschouwen als een elastisch materiaal, dat vervormt of plooit wanneer er kracht op wordt uitgeoefend. Wanneer de spanning toeneemt, kan deze op een zeker moment groter worden dan de sterkte van het gesteente, zodat het gesteente breekt.

Nu lijkt het er op dat we aardbevingen kunnen voorspellen wanneer we de spanningen in en de sterkte van het gesteente precies zouden kennen. Tot zo'n tien jaar geleden gebruikten veel geofysici en geologen deze veronderstelling nog als uitgangspunt. Tegenwoordig heerst onder aardbevingsspecialisten de opvatting dat spanning en sterkte slechts op statistische wijze kunnen worden beschreven. Uit deze opvatting volgt dat aardbevingen alleen statistisch voorspelbaar zijn, vergelijkbaar met de weersverwachting. Het huidige aardbevingsonderzoek is er dan ook mede op gericht de prognosetechnieken te verbeteren.

Met de wetenschap dat we een aardbeving op z'n best statistisch kunnen beschrijven, hebben we nog maar weinig inzicht in het fenomeen zelf. Om het ontstaan ervan te verklaren, nemen we eerst het begrip sterkte onder de loep. De sterkte van het gesteente is een materiaaleigenschap die afhankelijk is van druk en temperatuur. In speciaal daarvoor uitgeruste laboratoria kunnen aardwetenschappers nauwkeurig de materiaaleigenschappen van gesteentemonsters bepalen onder de druk- en temperaturomstandigheden die in de aardkorst heersen. De temperatuur kan er oplopen

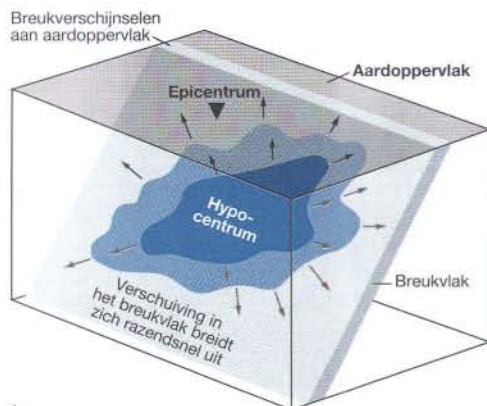
Seismometer en seismograaf

INTERMEZZO I

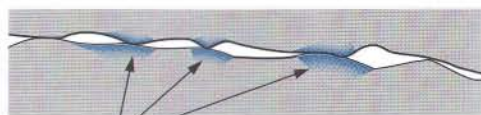


I-1

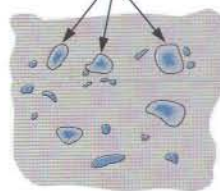
Een seismometer maakt gebruik van de traagheid van een massa om snelheidsvariaties te meten. We kunnen bijvoorbeeld denken aan een veer met een massa om de verticale grondbeweging te registreren. De verplaatsing van de massa ten opzichte van de behuizing van de seismometer wordt gebruikt om, via de krachtenbalans werkend op de massa, de bodembeweging te meten. De beweging van de massa ten opzichte van de grond wordt bepaald door de versnel-



1



2a



b

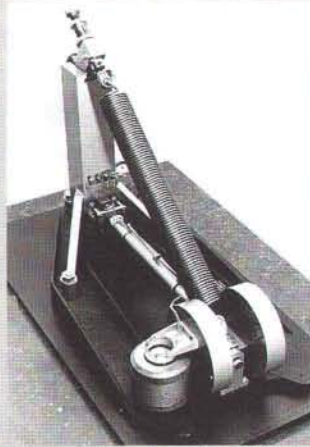
1 en 2. Bij een aardbeving verplaatsen de gesteenten aan weerszijden van een breuk zich ten opzichte van elkaar. De beweging ontstaat plotseling, wanneer de microscopische contactpunten tussen de gesteentemassa's (asperity's) de krachten in de aarde niet meer kunnen weerstaan.



ling van het aardoppervlak en is te beschrijven als die van een aangedreven slinger. Om de vrije, in theorie oneindig voortdurende, slingerbeweging van de massa tegen te gaan, wordt die gedempt. We zeggen dan ook dat de seismometer is gebaseerd op het principe van een gedempte harmonische slinger. In de meeste gevallen wordt de beweging elektromagnetisch gemeten via de inductiespanning die de bewe-

ging van een spoel in een magnetisch veld opwekt.

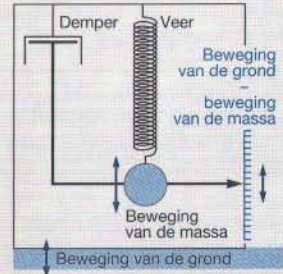
De term seismograaf slaat op de combinatie van seismometer met registratie-apparatuur. Oorspronkelijk schreef de seismograaf op papier, maar bij moderne apparatuur wordt het seismische signaal (de inductiespanning) gedigitaliseerd. Het grote voordeel van digitale registratie is het grote dynamisch bereik, zodat naast elkaar trillingen met een kleine amplitude (bijvoorbeeld 10 nm) en met een grote amplitude (1 cm) nauwkeurig kunnen worden geregistreerd.



I-2

I-1. De afdeling Seismologie van de Universiteit Utrecht beheert een netwerk van 14 verplaatsbare seismografen, NARS genaamd. Het is momenteel in Nederland, Duitsland en België geplaatst. In de loop van dit jaar verhuist het naar het GOS. Met onder andere deze seismograaf in een Valkenburgse grot onderzoeken Utrechtse seismologen de structuur van de aarde tot op een diepte van 600 km.

I-2 en I-3. Een seismograaf is een gedempte harmonische slinger. Het hier getoonde instrument registreert verticale trillingen van het aardoppervlak. Een seismisch station bevat altijd drie seismografen (op-neer, oost-west, noord-zuid).



I-3

tot zo'n zeshonderd graden celsius en de druk tot een gigapascal, tienduizend maal de atmosferische druk. Andere experimenten hebben aangetoond dat microscopisch kleine scheurtjes in het gesteente onder toenemende spanning kunnen uitgroeien tot een breuk. Doordat de breukzone de zwakste plek in het gesteente is, wordt de sterkte van het gesteente bepaald door de cohesie of door de wrijvingsweerstand in de breukzone.

Breukdeskundigen hebben aan de hand van laboratoriumproeven en de materiaalfysica een model opgesteld dat veel aardbevingen verklaart. Zij hebben dat het *asperity-model*

genoemd. Het Engelse woord *asperity* (ruwheid) vindt toepassing bij de beschrijving van wrijving. Asperity's zijn de microscopische contactpunten tussen twee oppervlakken, de 'uitsteeksels' die de wrijving grotendeels bepalen. Het asperity-model gaat er vanuit dat de sterkte van de breukzone wordt bepaald door de wrijvingsweerstand van de contactpunten in die zone en dat die weerstand varieert. Een aardbeving ontstaat zodra de spanning zo hoog oploopt, dat een van de sterkste bindingen in de breukzone het begeeft. De breuk breidt zich dan op catastrofale wijze en met grote snelheid (zo'n drie kilometer per secon-

de) uit tot aan die plaatsen waar de sterkte weer groter is dan de spanning. Het beginpunt van de aardbeving noemt men het *hypocentrum*. Het punt aan het aardoppervlak recht boven het hypocentrum is het *epicentrum*.

Waar komen aardbevingen voor?

Grote breuken komen op aarde in smalle zones voor. Als we de epicentra in kaart brengen zien we dat aardbevingen voornamelijk in deze breukgebieden plaatsvinden. Enkele belangrijke zones zijn de rand van de Stille Oceaan, waaronder de westkust van de Verenigde Staten en de westelijke rand van Midden- en Zuid-Amerika, en gebieden midden in de oceanen, zoals in de Atlantische Oceaan. Een nauwkeurige plaatsbepaling van aardbevingen werd in de jaren zestig mogelijk toen een wereldwijd netwerk van seismografen in gebruik kwam. De verspreiding van aardbevingen in



4



3

3. De grenzen van de lithosfeerplaten vallen samen met de smalle zones op aarde waar de seismische activiteit het hoogst is. Juist in die breukgebieden schuiven enorme gesteentemassa's langs elkaar en ontstaan er spanningen in de gesteenten.

grootschalige zones blijkt geheel in overeenstemming met de theorie van de plaattektoniek, die er vanuit gaat dat lithosfeerplaten of aardschollen voortdurend ten opzichte van elkaar in beweging zijn.

De seismologische bevestiging van de plaattektoniek kwam met de bepaling van de *breukbeweging* bij afgelegen aardbevingen. Zo bleek dat bij de zogenaamde mid-oceanische ruggen, zoals de Mid-Atlantische Rug,

het gesteente aan weerszijden van de breuk van elkaar af beweegt. Dit is in overeenstemming met het idee van de plaattektoniek, dat stelt dat bij de mid-oceanische ruggen magma naar boven komt. Hier vormt zich dan nieuwe oceaانبodem, waardoor de platen uit elkaar drijven. Aan de andere kant ontmoeten uiteendrijvende platen elkaar in subductiezones. Hier verdwijnt de oceaانبodem onder het continent, wat gepaard kan gaan met zware

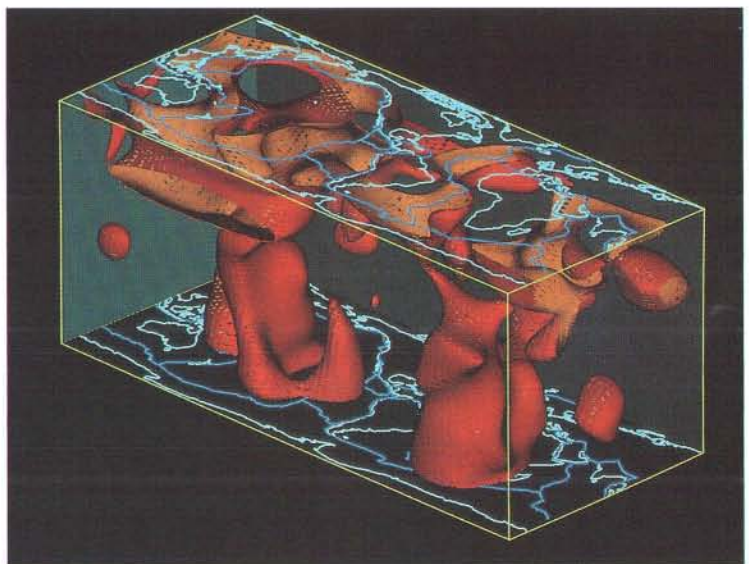


aardbevingen (zoals in Mexico, Chili en Japan). De breukbewegingen die seismologisch werden bepaald, bleken goed overeen te komen met de bewegingen die men zou verwachten op grond van de plaattektoniek.

Behalve de aardbevingen die voortkomen uit de spanningen en bewegingen aan de randen van de lithosfeerplaten, de *interplaat*-aardbevingen, komen er ook aardbevingen voor bij breuken middenin de platen. Dat zijn de zogenaamde *intraplaat*-aardbevingen. Deze zijn minder talrijk en zijn zelden krachtig. Ze treden voornamelijk op als gevolg van spanningen binnenin de plaat. De aardbeving van 13 april 1992 bij Roermond was zo'n intraplaat-aardbeving, die plaatsvond langs de Peelrandbreuk. Ook hier konden seismologen plaats en breukbeweging nauwkeurig vaststellen. Om te begrijpen hoe zij dat doen, moeten we eerst ingaan op de seismische golven die ontstaan bij een aardbeving.

5. Een zware aardbeving richt vaak grote verwoestingen aan. Een bij een aardbeving dakloos geworden bewoner van Leninakan (Armenië) zoekt tussen het puin van de stad, in de hoop nog iets te kunnen redden.

4. In deze 'doos' zijn gebieden in de aardmantel met lage seismische snelheid in kaart gebracht. De bovenkant van de doos komt ruwweg overeen met het aardoppervlak, de bodem geeft de overgang van de aardmantel naar de kern (ongeveer 2900 km diep) weer. Buiten de oranje figuren planten seismische golven zich met een gemiddelde of hogere snelheid voort; daar binnen zijn ze trager. Bij het aardoppervlak vinden we lage seismische snelheden bij plaatgrenzen, vooral daar waar zich midoceanische ruggen bevinden. Lage seismische snelheden geven een relatief hoge temperatuur van het gesteente aan. Middenin de mantel worden de temperatuurverschillen kleiner en zijn ze moeilijk in kaart te brengen.

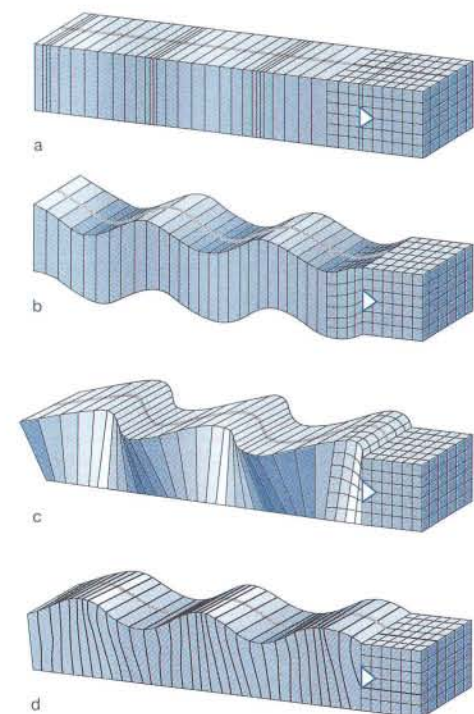


5

Seismische golven

Tijdens een aardbeving springt het elastisch vervormde gesteente aan weerszijden van de breuk terug tot een situatie met minder vervorming. De energie die daarbij vrijkomt, wordt voor het grootste gedeelte omgezet in wrijvingswarmte. Een klein gedeelte van de energie wordt echter omgezet in seismische golven, trillingen van het gesteente.

In vast materiaal ontstaan twee typen seismische golven: longitudinale golven met een druk-trekbeweging en transversale golven met een zijdelingse of schuifbeweging. De longitudinale golven staan in de seismologie bekend als *P-golven* of primaire golven, omdat die golven zich met de grootste snelheid voortplanten en dus als eerste op het seismogram verschijnen. In feite zijn de P-golven geluids-



6

6. De longitudinale P-golven (a) planten zich het snelst voort. Ze verschijnen voor de transversale S-golven (b) op een seismogram.

Diverse typen oppervlaktegolven (c en d) ontstaan uit combinaties en reflecties van de P- en S-golven.

INTERMEZZO II

Bepaling van aardbevingsparameters

Epicentrum

Als we de P- en S-golf op een seismogram herkennen, dan is het mogelijk de afstand van de aardbeving tot de seismograaf te bepalen. Uit het verschil in aankomsttijd van P- en S-golf is deze afstand eenvoudig te berekenen wanneer we de seismische snelheden van beide typen golven voldoende nauwkeurig weten. Het epicentrum kan theoretisch worden bepaald uit de afstanden tot drie verschillende seismografen: één afstandsmeting geeft rond de seismograaf een cirkel van mogelijke aardbevingslokaties, twee afstandsmetingen geven de snijpunten van twee cirkels als mogelijke aardbevingslokaties en met drie afstandsmetingen valt nog een van deze twee mogelijkheden af. Kleine variaties in de snelheid zorgen ervoor dat de drie cirkels niet precies door één punt gaan. Een zo nauwkeurig mogelijke lokatie wordt dan ook verkregen aan de hand van zoveel mogelijk seismische registraties. Met de diepte van de aardbeving houden we op deze manier geen rekening. In de praktijk gebeurt dat wel en wordt op vergelijkbare wijze het hypocentrum bepaald.

Breukbeweging

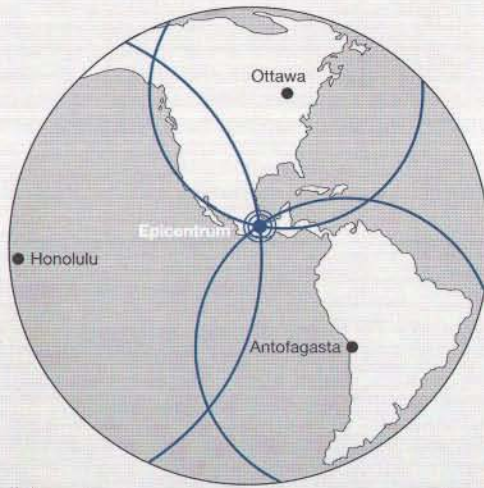
De eerste trillingsbeweging van een P-golf die verschijnt op een seismogram, is afhankelijk van de richting waarin de golf het hypocentrum heeft verlaten. Op basis van de gegevens van seismische stations in de (verre) omtrek van het hypocentrum, leggen aardwetenschappers een denkbeeldig assenstelsel over het hypocentrum. Zij doen dat zo, dat in twee tegenoverliggende kwadranten van dit stelsel alle P-golven beginnen met een verdichting en in de andere twee met een verdunning. Waar de golf begint met een verdichting, is de eerste beweging van het gesteente naar buiten gericht; in de andere twee kwadranten is die naar binnen gericht.

Van de twee vlakken die de kwadranten scheiden, komt er één overeen met het breukvlak, het andere is een vlak dat loodrecht op de breukbeweging staat. Er blijft echter een onzekerheid over welk van de twee vlakken het breukvlak is, en welk het vlak is dat loodrecht op de breukbeweging staat. Aanknopingspun-

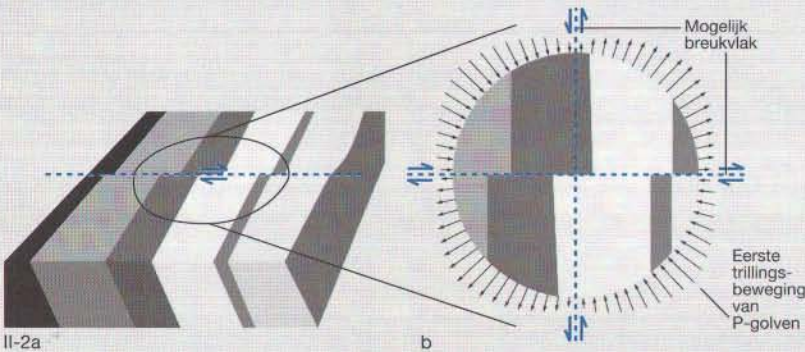
ten om deze dubbelzinnigheid op te lossen, zijn meestal te vinden in de geologie, uit de plaats en richting van de belangrijkste breuken in het gebied.

Magnitude

Eén van de bekendste aardbevingsparameters is de magnitude: een maat voor de grootte van de aardbeving. De magnitudeschaal is in 1935 geïntroduceerd door C.F. Richter om de sterkte van aardbevingen in Californië te vergelijken. De magnitude is gebaseerd op de amplitude van de seismische golven. Het is een logaritmische schaal, zodat het grote bereik tussen lichte en zware aardbevingen eenvoudig is weer te geven. Een toename van één eenheid op de schaal van Richter komt overeen met een tien keer zo grote



II-1



II-1. Vanuit drie seismische stations kan de ligging van een epicentrum worden bepaald. In de praktijk combineert men de gegevens van zoveel mogelijk stations.

II-2. Na analyse van de eerste trillingsbeweging van de P-golf op plaatsen rondom het epicentrum, blijven voor de richting van het breukvlak nog maar twee mogelijkheden over.

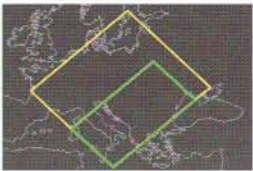
amplitude, of bijna dertigmaal zoveel energie. De magnitude kan worden gemeten aan de hand van de verschillende golven, wat tot enige variatie in de bepaling leidt. Andere verschillen komen voort uit de verschillende paden die de golven hebben gevolgd.

Een betere, fysische, maat voor de grootte van een aardbeving, is de hoeveelheid energie die er bij vrijkomt. Deze energie bestaat uit warmte, vervormingsenergie en kinetische ofwel seismische energie. De uit seismogrammen bepaalde seismische energie vormt slechts een kleine fractie van de totale energie die bij een aardbeving vrijkomt. De seismische energie is evenredig met het verschil in spanning voor en na de beving, met de grootte van het breukoppervlak en met de grootte van de relatieve verplaatsing.

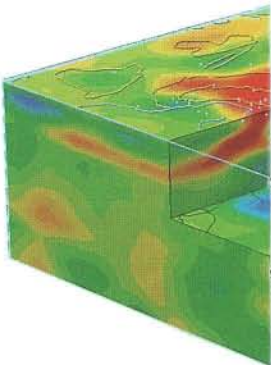
Seismologen kunnen aan de hand van de amplitude van de seismische golven, het frequentiespectrum, en de duur van het seismisch signaal de seismische energie, en de drie grootheden die daarmee evenredig zijn, bepalen.

De seismische energie die vrijkomt bij een aardbeving met magnitude zeven op de schaal van Richter is ongeveer $2 \cdot 10^{15}$ J. Deze hoeveelheid energie komt bijna overeen met het elektriciteitsverbruik van de stad Utrecht in het jaar 1990. De spanningsafname bij aardbevingen met een magnitude groter dan vijf ligt meestal tussen de 1 en 10 MPa. Helaas kunnen we met de seismische golven slechts de spanningsafname bij een aardbeving meten en niet de absolute waarde van de spanning bepalen. Juist die waarde is belangrijk voor goede voorspellingen.

golven, die zich in het gesteente met grote snelheid voortplanten. Ter vergelijking: de P-golven planten zich in de aardkorst voort met een snelheid van 5 tot 6,5 km s⁻¹, de geluidssnelheid in de lucht is 0,33 km s⁻¹. De transversale of S-golven (S staat voor secundair) planten zich met een snelheid van 2,9 tot 3,8 km s⁻¹ door de aardkorst voort. Behalve P- en S-golven, die zeer diep kunnen reizen, zijn er ook golven die zich voornamelijk langs het aardoppervlak, of beter gezegd door korst en lithosfeer, voortplanten: de zogenaamde oppervlaktegolven. Ze ontstaan uit P- en S-golven die binnen een laag heen en weer kaatsen en zijn enigszins vergelijkbaar met de golven in een vijver waar een steen in is gegooid.

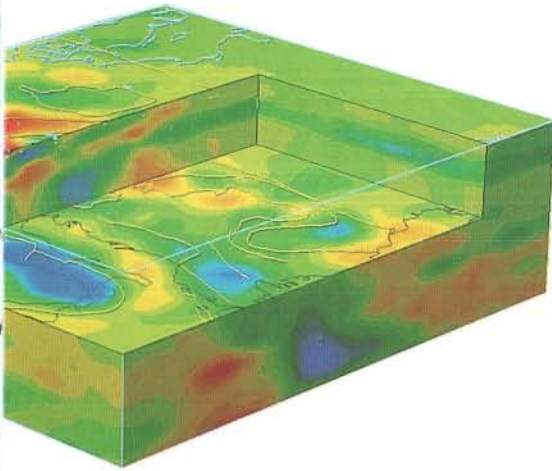


7. Uit seismische gegevens hebben Utrechtse aardwetenschappers de structuur van de aarde onder Europa gedetailleerd vastgelegd. Met de verschillende kleuren zijn snelheidsvariaties aangegeven waarmee P-golven reizen. Rood is relatief langzaam en blauw is relatief snel. De snelheidsvariaties komen overeen met temperatuursverschillen in de aarde.



7

Schaal van Mercalli - aardbevingsschade			
Intensiteit	Aanduiding	Verschuiving	Versnelling in cm s ⁻²
I		Alleen door seismografen geregistreerd	<1
II	Zeer licht	Slechts onder gunstige omstandigheden gevoeld	1-2
III	Licht	Trilling als van voorbijrijdend verkeer; door enkele personen gevoeld	2-3
IV	Matig	Door velen gevoeld; rammelen van deuren en ramen; trilling als bij zwaar verkeer	3-6
V	Vrij sterk	Algemeen binnenshuis gevoeld; opgehangen voorwerpen slingeren; klokken blijven stilstaan	6-15
VI	Sterk	Schrikreacties; voorwerpen in huis vallen om; bomen bewegen; weinig solide huizen worden beschadigd	15-30
VII	Zeer sterk	Schade aan vele gebouwen; schoorstenen breken af; golven in vijvers; kerkklokken geven geluid	30-60
VIII	Vernielend	Paniek; algemene schade aan gebouwen; zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield	60-160
IX	Verwoestend	Vele gebouwen zwaar beschadigd; algemene schade aan funderingen; ondergrondse pijpleidingen breken	160-300
X	Vernietigend	Verwoesting van vele gebouwen; grondverplaatsingen en scheuren in de aarde schade aan dammen en dijken	300-600
XI	Catastrofaal	Algemene verwoesting van gebouwen; rails worden sterk verbogen; ondergrondse leidingen vernield	600-1500
XII	Buitengewoon catastrofaal	Algehele verwoesting; scheuren in rotsen; verandering van het landschap; talloze aardverschuivingen	>1500



Structuur van de aarde

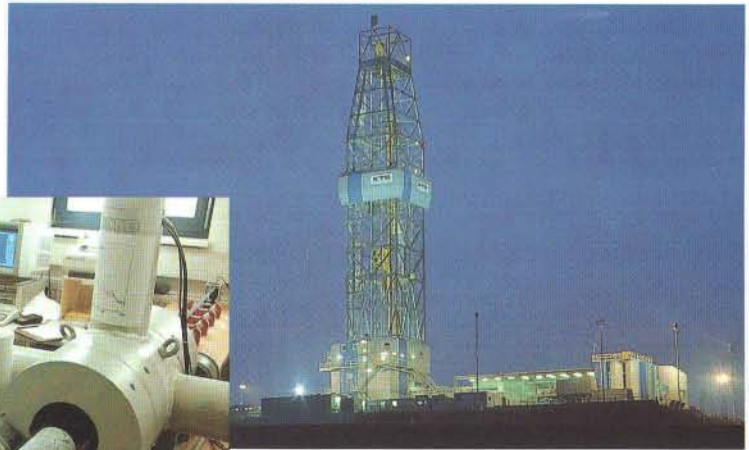
De seismische golven bevatten niet alleen informatie over de beving die ze veroorzaakte, maar ook over de gesteente-eigenschappen langs het pad dat ze door de aarde hebben gevolgd. De snelheid waarmee de golven zich voortplanten hangt namelijk af van de materiaaleigenschappen van het gesteente en varieert met de samenstelling, de temperatuur en de druk. Uit metingen van de reistijden van P- en S-golven weten we al sinds de jaren veertig dat de aarde globaal is opgebouwd volgens een schillenstructuur. Er zijn echter ook van plaats tot plaats belangrijke verschillen in de structuur van de aarde. Huidig seismologisch



8

8 en 9. Als de plannen uitkomen, bereikt de Kontinentale Tiefbohrung in de Duitse Oberpfalz de recorddiepte van 12 km. Dat lijkt heel wat, maar het dure project is als een speldeprik in de aarde en

levert ons slechts inzicht in de plaatselijke structuur van de aardkorst. Veruit de meeste aardbevingen spelen zich daaronder af, in de mantel van de aarde tot op enkele honderden kilometers diepte.



9

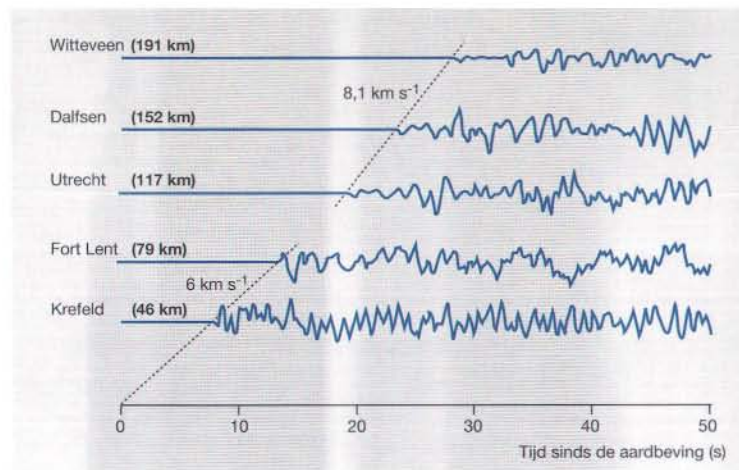
onderzoek is gericht op het in kaart brengen van deze variaties, die ons inzicht verschaffen in de processen diep in de aarde.

Met behulp van de seismische golven, die de aarde als het ware doorlichten, kunnen we structuren in de aarde 'zichtbaar' maken. Deze methode staat bekend als *seismische tomografie*. Dankzij de tomografie weten we dat de onderaardse structuur niet alleen verschilt tussen continenten, oceanen, subductiezones en mid-oceanische ruggen; er zijn ook verschillen in de aardmantel onder de continenten. Voor een aardwetenschapper is een aardbeving een signaal van de aarde en een bron van informatie over haar binnenste.

10 t/m 13. De aardbeving bij Roermond vond plaats op de Peelrandbreuk, de noordoostelijke begrenzing van de Roerdalslenk. In afbeelding 10 zijn enkele registraties van de aardbeving weergegeven. Dicht bij het epicentrum

volgen de trillingen paden die alleen maar door de korst van de aarde lopen, met een snelheid van zes kilometer per seconde. Verder weg dringen de trillingen dieper de aarde binnen. Daar planten ze zich sneller voort. De

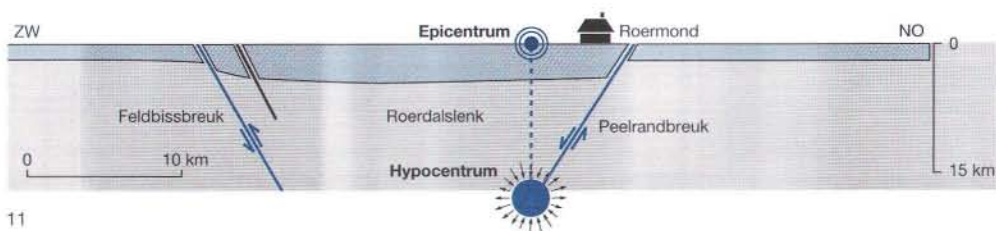
hoofdschok (er volgden zo'n tweehonderd nashokken) bereikte in Roermond, Herkenbosch en Heinsberg een intensiteit VII op de schaal van Mercalli (zie Tabel) en richtte plaatselijk een behoorlijke ravage aan.



10



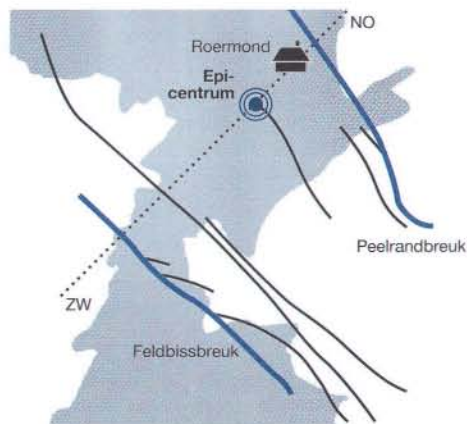
13



11

De aardbeving bij Roermond

De aardbeving bij Roermond was één van de sterkste aardbevingen uit de Nederlandse en Belgische geschiedenis. Sinds 1300 zijn er in beide landen zo'n veertien andere aardbevingen geweest van vergelijkbare sterkte. De aardbeving bij Roermond richtte plaatselijk veel schade aan, met name in Roermond, Herkenbosch en het Duitse Heinsberg. De beving werd gevoeld tot op 400 à 500 km afstand van het epicentrum (onder andere in Berlijn, München, Zürich, en Londen) en tot in Californië en Australië hebben seismografen haar geregistreerd.



12



Lichte aardbevingen zijn in Limburg niet ongewoon; de aarde trilde er een keer of tien in de afgelopen twintig jaar. De meeste hebben een geringe sterkte en richten geen schade aan. Aan aardbevingen in Brabant, Limburg en het Duitse Roergebied liggen spanningen in de aardkorst ten grondslag die zich aan het breukensysteem van de Roerdalslenk ontladen. De beving bij Roermond is uitgebreid onderzocht en vertelt ons veel over de plaatselijke bewegingen en spanningen in de aardkorst.

In Nederland is de aardbeving geregistreerd door seismografen van het KNMI en door een netwerk van tijdelijk gestationeerde seismografen van de Universiteit Utrecht. Met de seismogrammen van dit netwerk kon het epicentrum met een nauwkeurigheid van ongeveer twee kilometer worden bepaald op 51°10,2' NB en 5°58,3' OL, ofwel zes kilometer ten zuidwesten van Roermond. Over de diepte bestaat nog enige discussie. De dieptebepaling is namelijk afhankelijk van de veronderstelde seismische snelheden in de aardkorst. Toch lijkt het erop dat het hypocentrum

minstens op een diepte van veertien kilometer lag, maar waarschijnlijk dieper, op zeventien à twintig kilometer. Dit hypocentrum correspondeert met een diep gedeelte van de Peelrandbreuk, de noordelijke begrenzing van de Roerdalslenk.

Een tweede aanwijzing dat de aardbeving op de Peelrandbreuk plaatsvond, komt uit de breukbeweging. Die blijkt uit de eerste trilingsrichting van de P-golven. Het betrof hier een beving waarbij het gesteente aan de zuidwestzijde van het breukvlak verzakte ten opzichte van het gesteente aan de noordoostzijde. De seismologisch bepaalde oriëntatie van het breukvlak komt precies overeen met die van de Peelrandbreuk. De bewegingsrichting, een verzakking van de Roerdalslenk, geeft aan dat bij de aardbeving horizontale rekspanningen in de aardkorst zijn ontladen.

De magnitudebepalingen variëren tussen de 5,5 en 5,9. De seismische energie die bij de aardbeving vrijkwam is berekend op $2 \cdot 10^{12}$ J. De spanningsafname is bepaald op circa 2,5 MPa, de relatieve verplaatsing op tien centimeter en het breukoppervlak op ongeveer vijftien vierkante kilometer.

Literatuur

- Bolt BA. Inside the earth. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1982.
 Bolt BA. Earthquakes, New York: W.H. Freeman and Company, 1988.
 Nolet AMH. Kruiende korst - Voorboden van een aardbeving. *Natuur & Techniek* 1990; 58: 4, 300-311.
 George U. Een continent drijft uiteen - Bewegingen in onze aardkorst. Maastricht: *Natuur & Techniek*, 1991. (Een boek uit onze vierdelige jubileumserie 'Aandacht voor onze aarde')
 Fifield R. De structuur van de aarde. *Natuur & Techniek* 1991; 59: 1, Kijk op Wetenschap.
 Houtgast G. Aardbevingen in Nederland. De Bilt: KNMI, 1991.
 Ritsema AR. 1992: De drijvende kracht. In: Veldkamp J. Drijvende continenten. *Natuur & Techniek* 1992; 60: 7, 514-525.

Bronvermelding illustraties

- ANP-foto, Amsterdam: pag. 118-119
 KNMI, De Bilt: 1-2
 W. Spakman, Universiteit Utrecht, en de auteurs: 3
 Robert L. Woodward, Dept. Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, VS: 4
 ABC-press, Amsterdam: 5
 W. Spakman, Universiteit Utrecht: 7
 Mannesmannröhren-Werke AG, Düsseldorf, D: 8 en 9
 Fer Traugott, Roermond: 13
 De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteurs.

Met behulp van micro-elektronica wisten fabrikanten een vrijwel volautomatische camera op de markt te brengen. De fotograaf hoeft alleen nog maar te richten en op de knop te drukken. De camera antwoordt klik, flits, zoem, en levert een scherpe, goed belichte foto.

H.P.L. Coenen

Een **autofocus-** of **AF-camera** regelt zijn autofocusinstelling automatisch. Voeg daaraan een mechanisme toe voor het instellen van sluitertijd en grootte van de lensopening, alsmede een regeling van de elektronische flits, en we hebben een camera die met een simpele druk op de knop vrijwel altijd een scherpe en juist belichte foto geeft. De fotograaf hoeft alleen nog maar te beslissen welk stukje van zijn omgeving hij op de foto wil zetten. Vaak staat hem daarbij een zoomfunctie ter beschikking. Ook bij gebruik van de zoomlens worden de verschillende instellingen automatisch geregeld. Zo neemt in de fotografie de informatica het meten en regelen over van de mens.

Beroepsfotografen, bijvoorbeeld pers-, reclame- of ziekenhuisfotografen, zijn vaak met wonderlijke camera's, zware statieven en grote flitsinstallaties in de weer om de creatieve en technische wensen van hun opdrachtgever te realiseren. Vele serieuze amateurfotografen streven ernaar om hun hobby zo uit te voeren dat de foto's die zij maken

niet onder hoeven te doen voor die van de professionals. Met veel beroepsfotografen delen zij de voorkeur voor **spiegelreflexcamera's** met verwisselbare lenzen. De meeste van die camera's doen tegenwoordig alles automatisch, maar kunnen naar wens ook met de hand worden bediend. Bij de grote groep mensen die het fototoestel alleen gebruikt om familiegebeurtenissen of vakantieherinneringen vast te leggen, is de **compact-camera** populair. Die ogenschijnlijk eenvoudige toestellen herbergen tegenwoordig een schat aan fototechnisch vernuft. Elke categorie fotografen streeft ernaar om een zo goed mogelijk produkt te maken.

Kwaliteit

Scherpte en belichting

Wat is een kwalitatief goede foto? Als regel bedoelen we daarmee een foto die scherp is en juist belicht. Om dit te bereiken, kunnen op een camera beeldafstand, sluitertijd en diafrag-

ma worden ingesteld. Elk van deze instellingen speelt een hoofdrol bij het tot stand brengen van een kwalitatief goede foto. Wat het echter ingewikkeld maakt, is dat alle drie de instellingen de scherpste en de juiste belichting beïnvloeden.

Het instellen van de beeldafstand, kortweg scherpen, is nodig om een scherp beeld van het te fotograferen voorwerp te krijgen. Volgens de **lenzenformule** (zie Intermezzo I) komt bij een bepaalde afstand van het voorwerp tot de lens het beeld slechts scherp op de film bij een passende afstand van de lens tot het filmvlak. Strikt genomen komen dus alleen objecten op één bepaalde afstand scherp op de film. In de praktijk komen echter de voorwerpen die iets verder weg of dichterbij staan ook nog scherp in beeld. Het gebied dat we voor en achter de ingestelde voorwerpsafstand scherp waarnemen, geven we aan met de term **scherptediepte**.

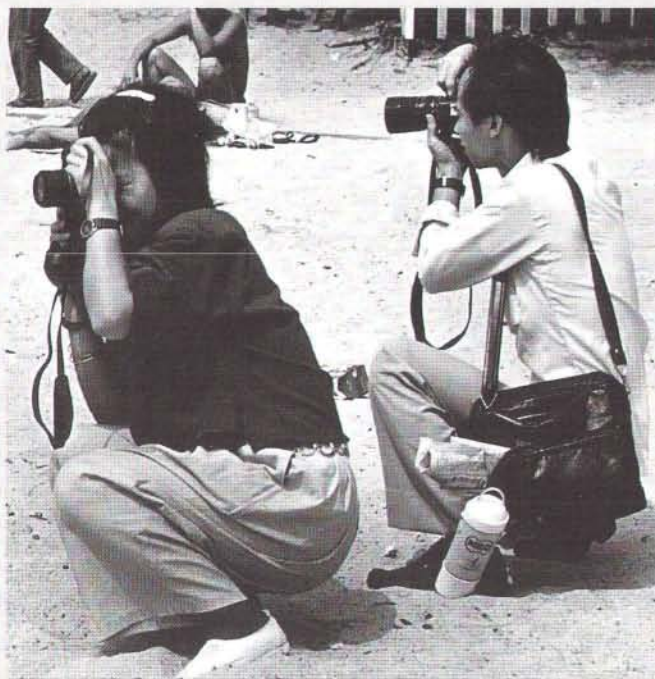
Om scherp te stellen moeten we dus de afstand tot het voorwerp bepalen en aan de hand daarvan de plaats van de lens ten op-

AUTOMATISCHE FOTOCAMERA'S

zichte van het filmvlak instellen. Handbediende camera's zijn daartoe uitgerust met een ring waarop de afstand in meters of met symbolen is aangeduid. Bij spiegelreflexcamera's zien we door de lens, en niet door een aparte zoeker, wat er op de film terecht zal komen. Met zo'n camera kunnen we 'op het oog' scherptediepte is enigszins te regelen met de grootte

beschikking: **sluiter** en **diafragma**. Het is duidelijk dat een tweemaal zo lange sluitertijd de dubbele hoeveelheid licht tot de film toelaat. Het lijkt dus geen probleem om de sluitertijd zo te kiezen dat er genoeg licht op de film valt. Toch zijn ook hier problemen aan verbonden: een langere sluitertijd kan onscherpe foto's opleveren, bijvoorbeeld in het geval van een snel bewegend object. Ook de na-

moet er in die korte tijd wel genoeg licht door de lens vallen. De maximale lensopening bepaalt die hoeveelheid. Een zo groot mogelijke lensopening of diafragma heeft echter ook nadelen: hoe groter het diafragma, des te geringer de scherptediepte. Bovendien spelen de onvermijdelijke lensfouten, die verantwoordelijk zijn voor vertekeningen in het beeld, bij een groot diafragma een grotere rol. Het is dus zaak om steeds de optimale combinatie van sluitertijd en diafragma te kiezen, zowel voor wat betreft scherpte en scherptediepte als voor de juiste belichting. De allereenvoudigste compactcamera's, waaronder de eenmalige camera's die met film en al de fotohandel verlaten, lijken volledig aan de noodzaak tot instellen voorbij te gaan. Ze beschikken slechts over één beeldpuntsafstand (**fixed focus**), één sluitertijd en één diafragma. De ontwerpers van de camera's maken gebruik van objectieven met een grote scherptediepte en dat zijn lenzenstelsels met een korte brandpuntsafstand. Doordat moderne kleurnegatieffilms een grote spreiding in belichting kunnen verwerken, kan met een vaste instelling worden volstaan. De sluitertijd is zo gekozen dat meestal geen bewegingsonscherpte op zal treden. Over- of onderbelichte negatieven worden in de ontwikkelcentrale bij het afdrucken gecorrigeerd. Uiteraard presteren deze simpele camera's het beste onder doorsnee-omstandigheden; voor een kiekje van de kinderen in het pretpark is dat echter voldoende.



Allerlei snuffjes in fotocamera's maken het steeds gemakkelijker om vakantieherinneringen vlijmscherp vast te leggen. (foto: Marcel Minnée, Den Haag)

van de lensopening (het diafragma), de tweede instelfunctie.

De tweede eis die we aan een kwalitatief goede foto stellen is die van de juiste belichting. Daartoe staan ons twee instelfuncties ter

tuurlijke trilling van de hand van de fotograaf (de zogenaamde **tremor**, bij de een wat sterker dan bij de ander) kan bij langere sluitertijden tot onscherpte leiden.

Een zo kort mogelijke sluitertijd lijkt ideaal, maar dan

BEELDVORMING

Om een scherp beeld te vormen, moeten alle stralen die van één punt van een voorwerp komen na breking door de lens ook weer door één punt gaan, het zogenaamde **beeldpunt**. Stralen die van ver verwijderde voorwerpen afkomstig zijn, worden door de lens samengebracht in het brandvlak van de lens. Bij een lens met brandpuntsafstand van vijftig millimeter ligt dit beeldvlak dus vijftig millimeter achter de lens. Daar moet zich dus ook de film bevinden als we een foto van een ver verwijderd object willen maken. Ligt een voorwerp dichterbij de lens, dan wordt de plaats van het beeldvlak achter de lens gegeven door de lenzenformule:

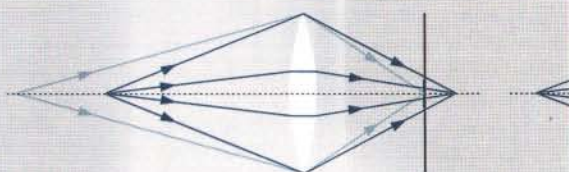
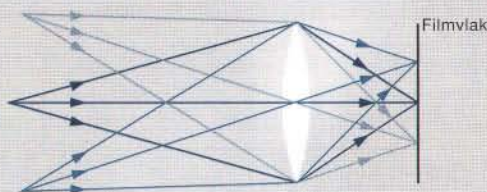
$$\frac{1}{b} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad \text{ofwel: } b = \frac{fv}{v-f}$$

Daarin is b de afstand van de lens tot het beeldvlak, v de afstand van het voorwerp tot de lens en f de brandpuntsafstand van de lens.

Bij een voorwerpsafstand van 5 meter en een lens met een brandpuntsafstand van vijftig millimeter, bedraagt de beeldafstand 50,5 mm. Om dan een scherp beeld te krijgen moet de lens een halve millimeter naar buiten worden geschoven. Bij $v = 2 \text{ m}$ wordt b bij deze lens 51,3 mm.

Scherptediepte

Als we een camera scherpstellen op bijvoorbeeld een afstand van vijf meter, zal een voorwerp op drie meter afstand onscherp op de foto komen. Het beeldvlak van $v = 5 \text{ m}$ ligt 50,5 mm achter de lens, het beeldvlak van $v = 3 \text{ m}$ ligt daarentegen op 50,8 mm achter de lens. De lichtstralen uit het drie-metervlak snijden elkaar dus achter het vlak van de film, en vormen op de film een vlekje. Naburige vlekjes overlappen elkaar en dat geeft een onscherp beeld. Het effect van onscherpte wordt echter minder als we met behulp van een kleiner diafragma de omtrekstralen van de bundel door de lens weghalen en alleen de centrale stralen aan de beeldvorming laten meedoen. De vlekjes op de foto zijn dan kleiner en daarmee is ook de onscherpte geringer. Door een geschikte diafragma-instelling kunnen we het gebied waarin de voorwerpen voor het oog nog scherp op de foto komen, groter of kleiner maken. Het schijnbaar scherpe gebied geven we aan met het begrip **scherptediepte**.

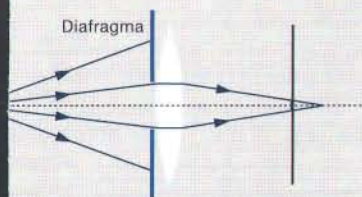


Het objectief van een fototoestel bestaat als regel niet uit een enkele lens. Elke lens, ook al is hij nog zo zorgvuldig geslepen, vertoont een aantal lensfouten. Deze geven afwijkingen in de beeldvorming: het beeld is vertekend, niet over het hele beeldvlak even scherp of bevat kleurfouten. Om aan de lensfouten te ontkomen, heeft men objectieven ontworpen die bestaan uit een aantal afzonderlijke, aan elkaar gekitte lenzen. Deze deel-lenzen verschillen onderling in vorm, brandpuntsafstand en glassoort (dus ook in brekingsindex). De combinatie is zo berekend, dat de lensfouten van de samenstellende delen elkaar zoveel mogelijk opheffen.

Bij zoomlenzen zijn de lensdelen over de hele lengte van de objectiefhouder gespreid. Dit maakt het mogelijk om de brandpuntsafstand en de beeldafstand van het geheel te wijzigen door de stand van slechts een of enkele tussenlenzen te veranderen. Het grootste deel van het objectief kan op zijn plaats blijven. Het voordeel hiervan is dat de motortjes die bij een volautomatische camera zorgen voor de verplaatsing ten behoeve van zoomen en scherpstellen, lichter kunnen worden uitgevoerd en dat de benodigde tijd voor de scherpstelling korter wordt. Er hoeft immers minder massa over een vaak kortere afstand te worden verplaatst.

INTERMEZZO I

Bij een gegeven afstand tussen lens en filmvlak komen slechts voorwerpen op een bepaalde afstand voor de lens scherp op de film. Punten die daar voor of achter liggen vormen een vlek. Een diafragma kan de grootte van de vlek beperken, waardoor het scherptegebied toeneemt.



Gezichtshoek

Groothoek en tele

Een camera met een lens, ofwel **objectief**, met vaste brandpuntsafstand (bij een kleinbeeldcamera is de standaard vijftig millimeter, bij een compactcamera vijfendertig) heeft een bepaalde **gezichtshoek** (zie Intermezzo II). De gezichtshoek bepaalt de grootte van het beeld van een voorwerp op de foto. Camera's met verwisselbare objectieven bieden de mogelijkheid om deze gezichtshoek te vergroten met een **groothoek-lens** of te verkleinen met een **telelens**. Deze laatste wekt de indruk dat je bij het maken van de foto dichterbij je onderwerp stond, ter-

wijl dat met een groothoek-lens juist verder weg lijkt.

Zoomlensen hebben een variabele brandpuntsafstand. Dit wordt als regel bereikt doordat de afstand tussen de verschillende lenzen die samen het objectief vormen, wordt gewijzigd. Zo zijn veel kleinbeeld-spiegel-reflexcamera's uitgerust met een zoomlens waarmee de fotograaf de brandpuntsafstand traploos kan instellen tussen pakweg vijfendertig en zeventig millimeter. Zo'n objectief is dus een combinatie van een groothoek- en een telelens. Ook de telezoomlensen die zich ruwweg laten instellen tussen honderd en tweehonderd millimeter, zijn populair.

Daar waar scherpte en belichting zich laten berekenen, zijn bij de keuze van de gezichtshoek creatieve overwegingen vaak doorslaggevend. De brandpuntsafstand van het objectief heeft echter zoveel invloed op scherpte en belichting, dat na elke verandering de instellingen moeten worden aangepast.

Autofocus

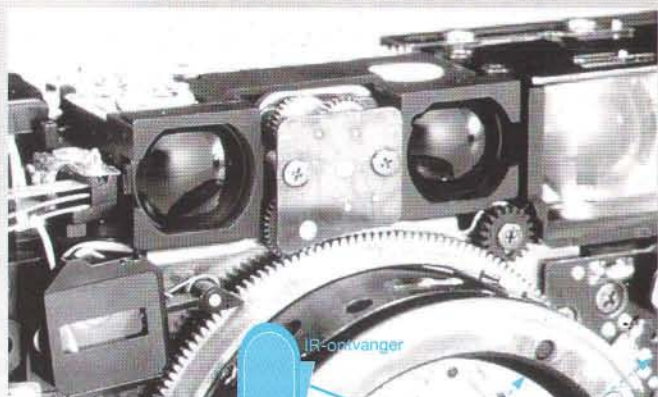
Altijd scherp

Uit het bovenstaande is duidelijk geworden dat het maken van een kwalitatief goede foto enerzijds een kwestie is van meten (afstand en lichtsterkte), en anderzijds een van wikken en wegen (sluiter tijd, diafragma en gezichtshoek). Vervolgens moeten alle instellingen zo snel en goed mogelijk worden uitgevoerd. Gezien de menselijke onvolkomenheden zijn de fabrikanten van camera's al lang op zoek naar mogelijkheden om het menselijke meten, berekenen en instellen te vervangen door automatisch meten, berekenen en regelen. Dankzij de micro-elektronica en de automatisering konden hiervoor in de loop der tijden steeds slimere oplossingen worden bedacht.

Een handbediende camera laat zich scherpstellen door met een draaibare ring aan het objectief de gewenste



De allereenvoudigste camera's hebben een vaste instelling van scherpte, diafragma en sluitertijd. (foto: Kodak, Driebergen)



Actieve autofocus is een veelgebruikt systeem voor compactcamera's. De beweging van IR-zender en -ontvanger zijn gekoppeld aan de scherpstelling van de lens. (foto: Pentax, Breda)

afstand in te stellen. De fotograaf meet of schat daartoe de afstand tot het voorwerp dat hij scherp op de foto wil. Met een optisch systeem, dat in allerlei variaties werd ontwikkeld, zetten de camerafabrikanten een eerste stap op weg naar vereenvoudiging. Zo werd bijvoorbeeld het beeld van het object eerst via prisma's gesplitst in twee halfbeelden, die naast elkaar in de zoeker te zien waren. Deze beelden vertoonden bij een onjuiste afstandinstelling een verschuiving ten opzichte van elkaar. Door aan een instelling te draaien tot dat de beide beeldhelften wel aan elkaar pasten, verschoof een van de prisma's. De afstandinstelling van het objectief was aan deze beweging van het prisma gekoppeld. Bij deze oplossing was de afstandschat-

ting vervangen door een optisch systeem waar de instelling mechanisch aan is gekoppeld, maar het bleef mensenwerk.

Een volgende stap was de autofocus, waarbij de camera al het werk doet: afstand bepalen en instelling regelen. Er zijn door de verschillende fabrikanten verschillende systemen voor ontwikkeld. Bij **actieve autofocus** zendt een infraroodzender dat naast het objectief in het camerahuis is ingebouwd, een gerichte lichtbundel uit (afb. boven). Doordat het zendertje draait, bestrijkt de bundel het gebied vóór de camera van links naar rechts. Weerkaatsen nu de stralen tegen een voorwerp dat zich op de as van het objectief bevindt, dan worden deze stralen weer opgevangen door een infraroodsensor die aan de

andere kant van het objectief is ingebouwd.

De ontvanger beweegt mee met de zender, en wel zo dat de ontvanger voortdurend is gericht op het snijpunt van lichtbundel en objectiefas. Aan de beweging van zender en ontvanger is de scherpste-instelling van het objectief gekoppeld. Als de zender het gezichtsveld vóór de camera doorloopt, schuift het objectief van kortste afstand naar oneindig. De beweging stopt zodra de sensor de gefleeteerde stralen ontvangt of wanneer de afstandinstelling de stand 'oneindig' heeft bereikt.

Actieve autofocus heeft enkele nadelen. De afstand wordt gemeten tot een voorwerp op de as van de camera, maar het voorwerp dat we scherp in beeld willen brengen, bevindt zich niet altijd daar. Wie bijvoorbeeld een foto maakt van twee personen naast elkaar, merkt dat de camera zich instelt op de achtergrond tussen beiden. Een zogenaamde **focus-lock** kan dit euvel verhelpen: men richt eerst op een object en fixeert vervolgens de afstand. Die blijft bewaard, ook al richt men de camera vervolgens op een ander voorwerp. De blokkade wordt opgeheven als men afdrukt. Een ander nadeel is dat de infraroodreflectie faalt bij schuine reflecterende vlakken, zoals ruiten. Een voordeel is weer dat het systeem zelfs in het donker werkt.

Een ander type autofocus staat bekend als **fasedetectie**. Met dit systeem deed de microprocessor zijn intrede in de automatisering

van de fotografie. Ten behoeve van de fasedetectie splitst een halfspiegel of prisma de lichtbundel die door het objectief in de camera valt. Een van beide bundels valt op een lichtsensor die even ver van het objectief ligt als de film en aldus een getrouwe kopie van de uiteindelijke foto ontvangt. De sensor is zelf weer opgebouwd uit een groot aantal gepaarde cellen, die alle zijn aangesloten op de microcomputer. Is de scherpstelling van het objectief correct, dan is de lichtverdeling over de even elementen van de paren gelijk aan die over de oneven

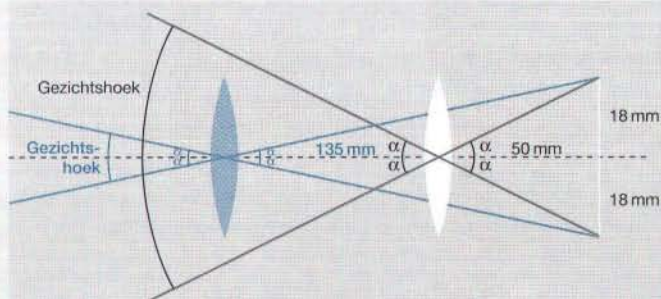
elementen. Is de instelling niet correct dan constateert de processor verschillen. Uit de vergelijking met de 'ideale' lichtverdeling kan de computer zelfs nagaan of het beeldvlak vóór of achter de sensor valt, en op grond daarvan de instelling regelen. Bij dit systeem regelen mini-motortjes die zo dicht mogelijk bij de lensdelen van het objectief liggen, de scherpte-instelling. De microprocessor stuurt de motortjes aan.

Om de gewenste scherptediepte te krijgen, is een voorkeuze-programma ontwikkeld. Dit semi-automatische systeem werkt bij de

meeste camera's die erover beschikken als volgt. De fotograaf wil een foto maken van enkele personen die op verschillende afstanden voor de camera staan. Door het toestel eerst te richten op de persoon die zich het dichtstbij bevindt, de ontspanknop half in te drukken en vervolgens te richten op de persoon die het verst van hem af staat, stelt de computer de optimale diafragma-opening en bijbehorende belichtingstijd in. Drukt de fotograaf de ontspanknop nu geheel in, dan levert dat hem een foto op waarop alle personen scherp zijn afgebeeld.

GEZICHTSHOEK

INTERMEZZO II



Een lens met een grote brandpuntsafstand lijkt voorwerpen dichterbij te halen, doordat die met een klein stukje van de omgeving het hele filmvlak vult.

Als we door de zoeker van een camera kijken, zien we slechts een beperkt deel van de ruimte voor de camera. De hoek die dit gebied begrenst noemen we de **gezichtshoek**. Deze wordt bepaald door de brandpuntsafstand van de camera-lens en de grootte van het filmvlak. Een kleinbeeldopname meet 24 bij 36 millimeter. Bij een voor kleinbeeldcamera's gangbare brandpuntsafstand van 50 mm, is de halve gezichtshoek α in de breedte van een liggende foto ongeveer 20° (afb. boven). Immers, $\tan \alpha$ is 0,36. De hele gezichtshoek is dus ongeveer 40° ; voor de hoogte is die ongeveer 27° .

Een gezichtshoek van 40° kunnen we nabootsen door een meter voor een raam te gaan staan en op de vensterbank een strook van ongeveer 75 cm af te passen. De uiteinden

van deze strook geven de grenzen van de gezichtshoek van 40° .

Voorzien we een fototoestel van een objectief met een brandpuntsafstand van 100 mm, dan wordt de gezichtshoek verkleind tot ongeveer 20° . Op de foto komt dan maar de helft van het gebied dat we eerst hadden. Maar alle beelden op de foto worden dan tevens dubbel zo groot; de gefotografeerde voorwerpen lijken dus tweemaal dichterbij. We spreken daarom van een telelens.

Het omgekeerde effect geeft een zogenaamde groothoeklens. Deze heeft een kleinere brandpuntsafstand dan 'normaal', bijvoorbeeld 24 millimeter. De gezichtshoek wordt dan meer dan 70° . Een gevolg is dat alle objecten nu kleiner lijken, dus verderaf.

Belichting

Rekenwerk geautomatiseerd

Voor het meten van lichtsterkten is het menselijk oog een nogal ongevoelig instrument. De **belichtingsmeter** heeft dan ook al tijden geleden zijn intrede gedaan in de fotografie. In wezen is het niet meer dan een lichtgevoelige cel die een lichtafhankelijk stroompje opwekt. Aanvankelijk werd deze als aparte meter uitgevoerd, met onhandig gemanipuleer als gevolg. Zo kwam er een hoeveelheid rekenwerk aan te pas met grootheden als het richtgetal van de meter, de gevoeligheid van de film, sluitertijd en diafragma. Hoewel een rekensysteem op de meter het werk vereenvoudigde, was voor elke foto een nieuwe meting nodig en moest de fotograaf de belichtingskeuze instellen op de camera.

De gevoeligheid van de film is een gegeven dat voor de juiste belichting van groot belang is. Fabrikanten hebben namelijk een breed scala van films met verschillende gevoeligheid voor licht ontwikkeld. Een schaal voor de gevoeligheid is het **ISO-getal**: een film van ISO 200 is dubbel zo gevoelig voor licht als een film van ISO 100 (men zegt ook wel: dubbel zo 'snel'). Bij een bepaalde lichtsterkte kan men met een gevoeliger film een kleinere diafragma-opening of een kortere belichtingstijd benutten. Beide werken gunstig voor de scherpte van de opname.

Het handwerk rond de belichting nam al flink af toen

de belichtingsmeter in de camera werd ingebouwd. Nog eenvoudiger werd het toen de instelling van sluitertijd en diafragma werden gekoppeld aan de lichtmeting. De fotograaf heeft met zo'n camera de vrije keuze van de sluitertijd, waarbij de camera het juiste diafragma instelt, of hij kiest het diafragma en laat de camera de sluitertijd bepalen. Hierbij is dus al veel van het menselijke rekenwerk geautomatiseerd. Dit is mogelijk geworden door het toepassen van **LSI's (large scale integrated circuits)**, een soort eenvoudige microprocessors. Deze zijn zo geprogrammeerd dat ze de signalen van de belichtingsmeter verwerken en op grond daarvan een signaal doorgeven aan het motortje dat het diafragma of de sluitertijd regelt.

Het is ook mogelijk om de computer in het toestel zo te programmeren dat hij in iedere situatie de gemeten of ingestelde grootheden vergelijkt met voorbeeldsituaties in zijn geheugen en op grond daarvan de instelling kiest die voor de situatie optimaal is.

Een stapje verder op deze weg is de verfijning van de belichtingsmeting: het beeldvlak wordt verdeeld in een aantal zones waarvan de lichtsterkte afzonderlijk wordt gemeten. De waarde voor het centrale deel van het beeldvlak geldt het sterkste, de andere delen worden ook beoordeeld op hun contrasten. Uit het geheel berekent de computer de optimale belichting, waarbij ook de hoeveelheid toegevoegd flitslicht meetelt.

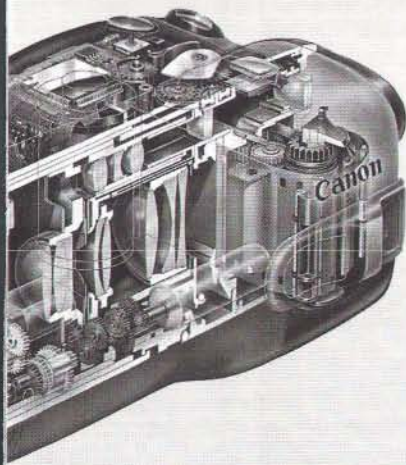


Deze moderne zoekercamera is opgebouwd rond een zoomlens met een brandpuntsbereik van 35 tot 105 mm. De camera is volautomatisch, maar

Zoomlenzen

Gezichtshoek naar wens

De brandpuntsafstand van het objectief bepaalt bij de camera de gezichtshoek, dat wil zeggen de hoogte en breedte van het beeld dat op de foto komt. Een kleinbeeldcamera met een vaste brandpuntsafstand van vijftig millimeter heeft een gezichtshoek van ongeveer veertig graden (Intermezzo II). Om een grotere gezichtshoek te krijgen, moeten we gebruik maken van een zogenaamde groothoeklens, een objectief met een kortere brandpuntsafstand, bijvoorbeeld twintig millimeter. Willen we de gezichtshoek verkleinen – en daarmee op de film een groter beeld van het voorwerp ontwerpen – dan nemen we onze toe-



biedt de fotograaf een heel scala aan opties, waar die desgewenst gebruik van kan maken. (foto: Canon, Nieuw Venne)

vlucht tot een tele-objectief met bijvoorbeeld tachtig millimeter brandpuntsafstand.

Spiegelreflexcamera's zijn in dit opzicht het handigste in het gebruik. Men verwisselt daarbij letterlijk in een handomdraai het objectief. Compactcamera's hebben vaak de mogelijkheid van voorzetlenzen die samen met de vaste lens de gewenste brandpuntsafstand geven. In beide gevallen heeft men de keus uit lenzen die door de fabrikant van het fototoestel standaard worden geleverd, of uit objectieven en voorzetlenzen die door gespecialiseerde firma's worden geproduceerd. Een extra categorie vormen de zogenaamde zoomobjectieven, die traploos een heel bereik aan brandpuntsafstanden kunnen doorlopen, bijvoorbeeld van 35 tot 80 mm, of van 100 tot

200 mm. Ook onder de compactcamera's is een aantal typen met een dergelijke zoomlens uitgevoerd.

Hoe gaat nu bij zo'n zoomlens de scherpstelling in zijn werk? Allereerst moet de fotograaf de camera op het object richten en de gewenste vergroting instellen. Vervolgens regelt de automatische camera via een AF-systeem de scherpstelling. Aangezien elke zoominstelling een aparte scherpstelling vereist, moet die via een computerberekening worden gerealiseerd. De computer plaatst de objectieftiefden in de stand die een scherpe foto oplevert.

Een bijkomende vervolmaking is de koppeling van de zoomlens met de flitser. De belichtingshoek van de flitser, die minstens even groot hoort te zijn als de gezichtshoek van de camera, zoomt daarbij met de lens mee.

Computerisering

Creativiteit en zekerheid

Een laatste ontwikkeling in de automatisering van de fotografie is het inbouwen van computerprogramma's voor verschillende fotografische doeleinden. Landschapsfotografie, portretten, sportbeelden, elke categorie

heeft zijn eigen vuistregels voor diafragma en sluitertijd bij een bepaalde hoeveelheid licht. Sommige fotografen ervaren dit als een van de creatieve mogelijkheden bij het hanteren van de camera en willen de keus nauwkeurig zelf bepalen. Anderen geven er de voorkeur aan om ook dit werk door de computer te laten uitvoeren om steeds zeker te zijn van het resultaat. Zij kunnen tegenwoordig beschikken over camera's met ingebouwde programma's voor verschillende onderwerpen en hoeven alleen de betreffende voorkeuzetoets op het gewenste onderwerp in te stellen. Andere camera's realiseren dezelfde mogelijkheden via chip-kaarten die in het toestel kunnen worden geschoven.

Zo zien we in de automatisering toch weer twee tendenzen optreden. Enerzijds zijn er steeds meer functies geautomatiseerd, zodat de gelegenhedsfotograaf kan beschikken over een toestel dat al het denkwerk van hem overneemt. Het fotograferen wordt gereduceerd tot: richt de camera, kies de gezichtshoek en druk af. Het resultaat zal slechts zelden teleurstellen. Anderzijds maakt de automatisering het mogelijk om via een aantal voorkeuzen een groot scala aan toepassingen te kiezen.

Literatuur

Belloni-Cofler J., ea. Het ontwikkelingsvraagstuk - Zwart/wit. *Natuur & Techniek* 1991; 59: 10, 780-793.

Beek HCA van, Brand EE, Brand HM. Kleurenfotografie - Chemie op de korrel. *Natuur & Techniek* 1986; 54: 7, 532-547.


KIJK OP WETENSCHAP verschijnt zes maal per jaar, onder redactie van *Natuur & Techniek*, in samenwerking met *New Scientist*.

Voor het maken van kopleën is toestemming vereist van de Stichting Reprorecht (Postbus 882, 1180 AW Amsterdam, Tel. 0(0-31)20-5407496).

HET VERBORGEN LEVEN VAN DE MALARIAPARASIET

MUSKIET EN

Dankzij de ruime toepassing van DDT leek de malaria 25 jaar geleden een overwonnen plaag. Maar de malariamuskiets verwierf resistentie tegen DDT, een bestrijdingsmiddel dat we overigens niet meer willen gebruiken. Thans eist de malariaparasiet jaarlijks weer miljoenen slachtoffers. Om de parasiet doeltreffend aan te pakken, moeten we weten hoe die zijn verwoestend werk verricht. Utrechtse biochemici bestuderen daartoe de membraan van de menselijke rode bloedcel en de veranderingen die daarin optreden als een malariaparasiet er doorheen dringt en zich binnen deze cel vermenigvuldigt.



Er zijn honderden soorten malariamuskieten. Hier zuigt een vrouwelijk exemplaar van *Anopheles stephensi* bloed op uit menselijke huid. Op deze manier kan zij iemand besmetten met de malariaparasiet of zelf geslachtscellen van

de parasiet opzuigen. Er zijn honderdtwintig soorten van de parasiet. Vier daarvan zijn gevaarlijk voor mensen. Andere soorten treffen we aan bij apen, knaagdieren, vogels en zelfs reptielen.

MEMBRAAN

J.A.F. Op den Kamp en B. Roelofsen

Centrum voor Biomembranen en Lipide Enzymologie, Universiteit Utrecht

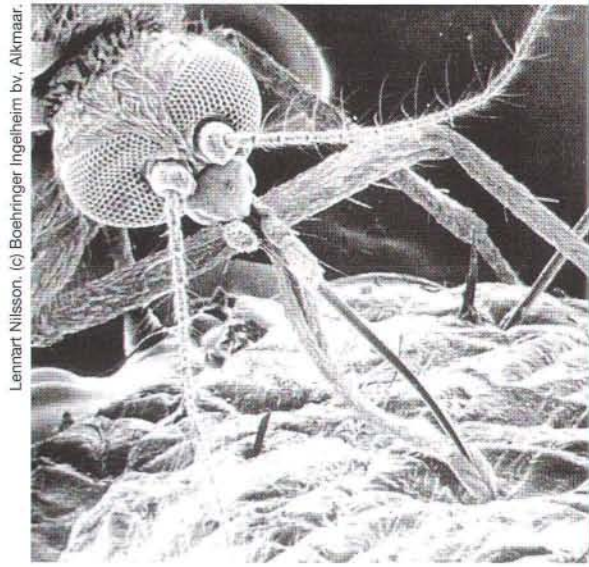


Groei en deling van de malariaparasiet spelen zich grotendeels af binnen rode bloedcellen. De membraan die deze bloedcellen omhult, is nauw betrokken bij de verschillende stadia van dit groeiprocés. De relatie tussen de parasiet en de membraan van de rode bloedcel is zeer ingewikkeld. Vanaf het moment dat de parasiet zijn intrede doet, spelen zich allerlei veranderingen af in de membraan. Het is lang niet duidelijk welke veranderingen in de structuur en functie er nu precies optreden. Vandaar de belangstelling voor onderzoek aan deze membraan en de mogelijke veranderingen in z'n structuur en functie als gevolg van de malaria-infectie. De belangrijkste vragen waar we een antwoord op zoeken, zijn: hoe komt de parasiet de cel binnen en, eenmaal binnen, hoe verandert hij de membraan zodat de opname van de voedingsstoffen en bouwmaterialen gemakkelijker wordt? Via welke wegen loopt het transport van de componenten die de parasiet nodig heeft en op welke manier barst de cel open om de nieuwe parasieten vrij te laten?

Er is slechts een bescheiden begin gemaakt met het beantwoorden van deze vragen. Het onderzoek aan malaria loopt namelijk achter op de huidige kennis en stand van zaken in de celbiologie en de biochemie. De reden daarvoor is niet ver te zoeken. Omstreeks de jaren zestig was de malariamuskiet, een mug van het geslacht *Anopheles*, en daarmee de ziekte bijna uitgeroeid door het gebruik van DDT. Daardoor verdween de interesse voor wetenschappelijk onderzoek aan malaria geheel. Zoals een WHO-functionaris onlangs cynisch opmerkte: "DDT heeft meer bijgedragen aan de verdelging van malariologen dan aan de verdelging van muskieten". Maar aan het begin van de jaren zeventig kwamen er malariamuskieten voor die resistent waren tegen DDT. De snelle toename van het aantal ziektegevallen sindsdien, was voor de WHO aanleiding om het onderzoek naar malaria nieuw leven in te blazen.

Een bijna ideale schuilplaats

Na de steek door een besmette *Anopheles*-muskiet, dringt de parasiet, een eencellige van het geslacht *Plasmodium* uit de klasse van sporediertjes, in de vorm van een deelspore vanuit de bloedbaan door in een levercel. Daar



1

ontstaan uit de spore honderden kleinere cellen, die vrijkomen in het bloed zodra de levercel ten gronde gaat. Die verschaffen zich vervolgens toegang tot de rode bloedcellen. Er zijn diverse *Plasmodium*-soorten, elk met een eigen gastheer (de muskiet) en tussengastheer (bijvoorbeeld de mens).

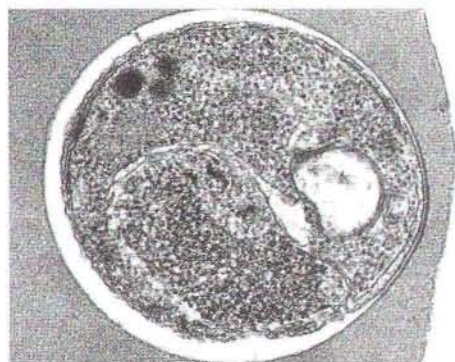
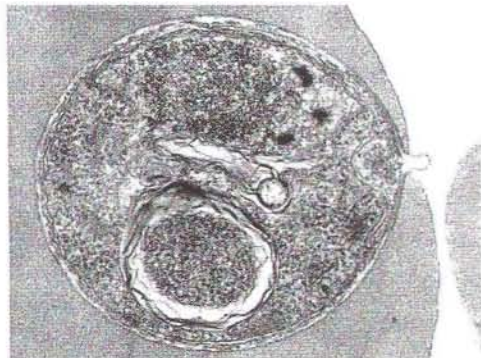
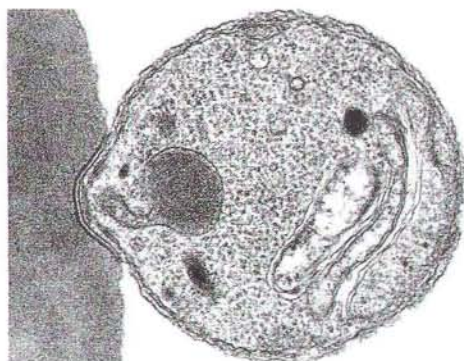
Het schuilen in bloedcellen biedt de parasiet talloze voordelen. Er zijn genoeg van die bloedcellen, ze hebben een goed functionerend systeem voor energieproductie en ze bevinden zich in de bloedbaan, het belangrijkste transportsysteem van het lichaam. De talloze voedingsstoffen in het plasma zijn binnen handbereik. Het belangrijkste voordeel is echter dat de parasiet onzichtbaar is voor het afweersysteem.

De tijd die de parasiet buiten de rode bloedcel in de bloedbaan doorbrengt – en dus herkenbaar is als lichaamsvreemd – is beperkt. Het contact van de parasiet met het afweer- en immuunsysteem is er alleen direct na infectie, als de parasiet op weg is naar de lever, van het leverstadium terug naar de bloedbaan en na het openbarsten van de rode bloedcellen, als de parasieten op zoek zijn naar nieuwe gastheercellen.

Nadelen zijn er natuurlijk ook. De rode bloedcel is eigenlijk een zakje met hemoglobine, dat een transportfunctie heeft. Deze cel is

1. Als een besmette *Anopheles*-muskiet een slachtoffer steekt, kan hij parasieten overbrengen. Steekt een onbesmette muskiet een malariapatiënt, dan is er een kans dat de muskiet geslachts-cellen van de parasiet opzuigt.

2. De membraan van de rode bloedcel stulpt in op de plaats waar de parasiet hem raakt. De rode bloedcel vouwt zich om de parasiet heen, waarbij een vacuole ontstaat. Er verhuizen eiwitten en lipiden van parasiet naar gastheer en omgekeerd.



2

zo gespecialiseerd, dat hij zelfs geen kern meer heeft. Daardoor heeft de gastheercel beperkte mogelijkheden voor de aanmaak van complexe organische verbindingen. De membraan is bovendien een effectieve barrière die veel van de stoffen die de parasiet nodig heeft, niet doorlaat. (Zie Intermezzo I en II voor een overzicht van de bestanddelen van de membraan van de rode bloedcel) De membraan moet dus worden veranderd om de opname-mogelijkheden te vergroten, met het gevaar dat die door het immuunsysteem als lichaamsvreemd wordt gezien.

De invasie

Er zijn talloze aanwijzingen, onder meer verkregen via de elektronenmicroscopie, dat het binnendringen van de parasiet verloopt via een proces dat lijkt op endocytose. De parasiet en de rode bloedcel komen met elkaar in contact, waarna de gastheermembraan zich als het ware om de parasiet vouwt. Als de parasiet geheel is ingesloten, vindt er een afsnoering plaats en de parasiet, omgeven door membraan, bevindt zich nu in de rode bloedcel. Het hele invasie-proces speelt zich af in ongeveer een halve minuut.

Als een parasiet zo doordringt in de rode bloedcel, moet hij wel specifieke stoffen op het oppervlak van de rode bloedcel herkennen. Onderzoekers hebben hiervoor diverse kandidaten genoemd, waaronder bepaalde eiwitten (glycoforine en delen van het band-3-eiwit), sialzuur en, in het geval van infectie met de malariaparasiet *Plasmodium vivax*, een van de vele bloedgroepfactoren, het Duffy-antigen.

De structuur van de parasiet verandert voortgaand aan de invasie. Op elektronenmicroscopische opnamen is te zien dat er membraanuitstulpingen (*rhoptries*) ontstaan op de plaatsen waar bepaalde eiwitten in de parasiet-membraan contact maken met het oppervlak van de rode bloedcel. Als die eiwitten worden opgenomen in de gastheermembraan, verhuizen er ook membraanlipiden van de parasiet naar de gastheercel.

Een van de meest recente theorieën over de invasie stelt, dat de parasiet een eiwitsplitsend enzym afscheidt op de plaats waar hij contact maakt met de rode bloedcel. Dit enzym breekt ter plekke het band-3-eiwit in stukken, zodat de membraanstructuur wordt verzwakt. Dit

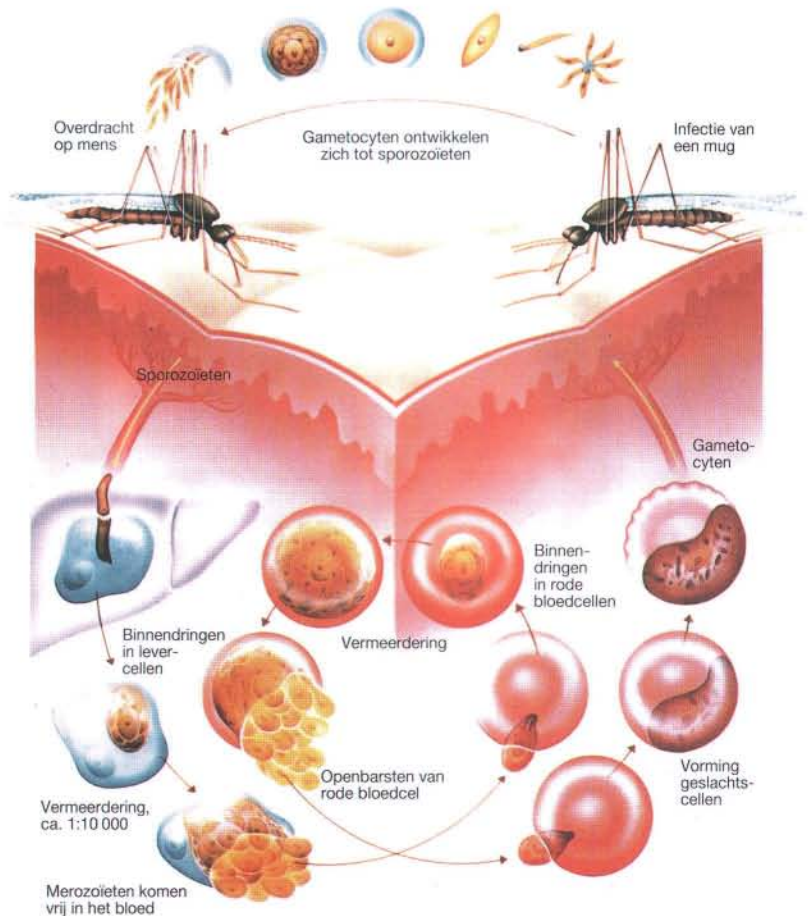
proces bevordert de endocytose. Een dergelijk mechanisme is gedeeltelijk gebaseerd op proeven met niet-geïnfecteerde rode bloedcellen. Die kunnen we inderdaad aanzetten tot endocytose door een behandeling met het eiwit-splitsende enzym chymotrypsine.

Verder intensief onderzoek naar dit mechanisme is noodzakelijk. Opheldering van het invasiemechanisme levert namelijk mogelijke aangrijpingspunten op voor de ontwikkeling van antistoffen tegen eiwitten die bij de invasie een rol spelen.

Intracellulaire groei en opname

Als de parasiet eenmaal is aangeland binnen de gastheercel, vermenigvuldigt hij zich ongeveer zestien maal binnen twee etmalen. Dit alles gebeurt in een cel die amper in staat is allerlei molekulen te maken. Op een enkele uitzondering na, bezit de parasiet zelf dan ook de complete machinerie voor de aanmaak van DNA, RNA, eiwitten, lipiden en complex koolhydraten. De malariaparasiet heeft echter een aantal ingewikkelde grondstoffen nodig, in te

3. Na de binnendringing in het lichaam van de sporozoiët, vermeerderd deze zich in de lever tot zo'n tienduizend merozoïeten. De merozoïeten kunnen zich ongeslachtelijk vermeerderen in rode bloedcellen. Er kunnen ook geslachtscellen van de parasiet ontstaan, de gametocyten. Nadat deze door de muskiet zijn opgezogen, vindt in de muskiet de geslachtelijke vermeerdering plaats. Uiteindelijk ontstaan daaruit de sporozoiëten, die de muskiet tijdens de steek overdraagt.



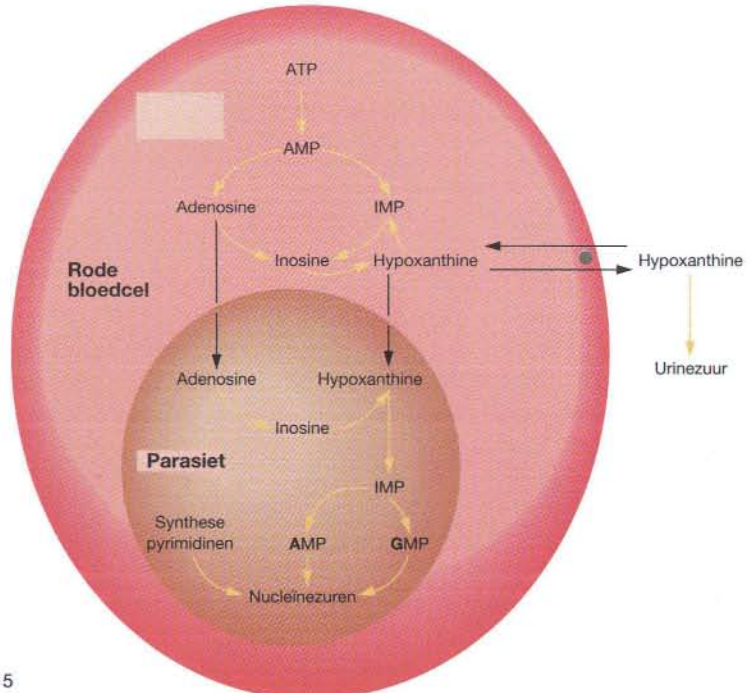


4

4. In een macro-opname in gepolariseerd licht zijn de verticaal georiënteerde vliegsieren van de malariamuskiet goed zichtbaar. Nadat de gameto-

cyten zijn opgezogen, ontwikkelen ze zich bij de middendarm van de muskiet tot sporozoiëten. Deze verhuizen naar de speekselklieren.

5. De parasiet kan zelf geen purinen maken. ATP uit de rode bloedcel wordt omgezet in adenosine en hypoxanthine. De parasiet kan deze verbindingen opnemen. Via de tussenverbinding inosine-monofosfaat worden deze nucleosiden omgezet in adenosine-monofosfaat (AMP) en guanosine-monofosfaat (GMP), die vervolgens in de nucleïne-zuren kunnen worden ingebouwd.



5

genstelling tot een bacterie zoals *Escherichia coli* die letterlijk alles wat ie nodig heeft, kan synthetiseren uit een aantal anorganische zouten, een stikstofbase en een simpele koolstofbron zoals glucose. Zo kan de malariaparasiet alleen fosfolipiden aanmaken als hij vetzuren van elders krijgt aangeleverd. Van de bouwstenen van het DNA – de purinen (adenine en guanine) en de pyrimidinen (cytosine en thymine) – kan hij alleen de pyrimidinen zelf maken. Het ATP in de rode bloedcel en het hypoxanthine dat aanwezig is in zowel de rode bloedcel als het plasma, leveren, via een reeks omzettingen, adenine en guanine. De benodigde aminozuren verkrijgt de parasiet door de afbraak van hemoglobine of van buiten de rode bloedcel.

De membraan van de rode bloedcel is een efficiënte barrière, die een beperkt aantal stoffen doorlaat. Hij bevat transportmechanismen voor de opname van anionen (HCO_3^- , Cl^-), kationen (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) en simpele moleculen zoals suikers, lactaat, fumarate enzovoort. Enkele activiteiten, met name de opname van ionen, moeten vrijwel onveranderd blijven. Het is namelijk voor de parasiet belangrijk dat de rode bloedcel zijn osmotische waarde behoudt, en daarmee zijn volume en samenhang.

Zouden deze activiteiten drastisch veranderen, dan herkent het immuunsysteem de cel als defect en zorgt het ervoor dat die, met de parasitaire inhoud, uit de bloedbaan verdwijnt.

Het is dus voor de parasiet wenselijk, dat hij de doorlaatbaarheid van de membraan selectief verandert. Er zijn aanwijzingen dat de parasiet dit op allerlei manieren kan bereiken. De meest effectieve verandering kan worden

bereikt door de aanmaak van specifieke transporteiwitten, die in de membraan van de rode bloedcel worden ingebouwd. Een andere mogelijkheid is de verhoging van de effectiviteit van bestaande transportsystemen.

De parasiet kan ook de doorlaatbaarheid van de membraan veranderen door de samenstelling van de lipidendubbellaag, waarin de transporteiwitten zich bevinden, te wijzigen.

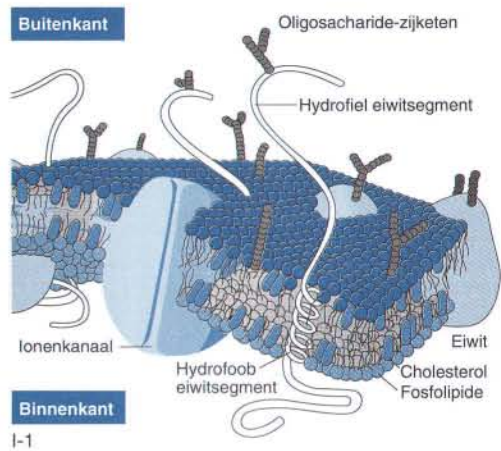
De membraanlipiden van de rode bloedcel

De basisstructuur van ieder biologisch membraan is een bimoleculaire lipidenlaag. De membraan van de rode bloedcel vormt op deze regel geen uitzondering; in tegendeel, het concept van de lipidendubbellaag als matrix voor biologische membranen is rechtstreeks voortgekomen uit het onderzoek aan rode bloedcellen.

Een momentopname van een membraan, zoals schematisch weergegeven in afbeelding I-1, geeft een starre indruk. In werkelijkheid gebeurt er van alles in de membraan. Binnen iedere helft van de dubbellaag zijn de afzonderlijke molekulen onderhevig aan zeer snelle, zijwaartse (laterale) diffusieprocessen. Zo'n halve dubbellaag lijkt een soort twee-dimensionale vloeistof. Een lipidemolekuul heeft slechts enkele seconden nodig om het totale oppervlak van de rode-bloedcelmembraan (ongeveer $130 \mu\text{m}^2$) te hebben 'bewandeld'. Biologische membranen worden derhalve sedert het begin van de jaren zeventig algemeen beschreven volgens het *vloeibare-mozaïekmodel*.

De lipidendubbellaag bestaat bij de gratie van de eigenschappen van met name de fosfaatbevattende lipiden, de fosfolipiden. Fosfolipiden hebben een amfifiel karakter, dat wil zeggen dat hydrofiele en hydrofobe eigenschappen in één molekuul zijn verenigd. Ze hebben een polaire kopgroep en een apolaire staart, waardoor ze in een waterig milieu vrij gemakkelijk een dubbellaag vormen. De molekulen richten zich in een dubbellaag op zo'n manier, dat de kern van die laag bestaat uit de hydrofobe vetzuurstaarten, onder volledige uitsluiting van water. De hydrofiele kopgroepen vormen daarentegen aan beide zijden de buitenste begrenzing van de dubbellaag en staan in rechtstreeks contact met water.

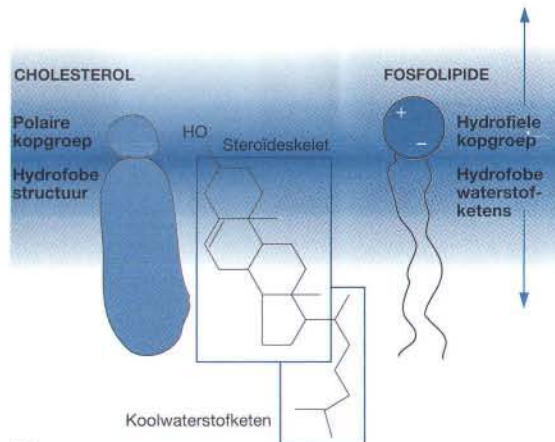
Het merendeel der fosfolipiden is van glycerol afgeleid en heet daarom *glycero-fosfolipiden*. Een van de bekendste glycerofosfolipiden is het fosfatidylcholine, dat wellicht meer bekend is onder de triviale naam lecithine. Naast fosfatidylcholine bestaan er nog een aantal andere klassen van glycerofosfolipiden. Daarin is de plaats van de polaire cholinegroep



I-1

I-1. Het vloeibare-mozaïekmodel geeft de bouw van een celmembraan weer. In de lipidendubbellaag bevinden zich de membraaneiwitten,

waarvan sommige aan twee kanten uitsteken. Suikerketens zijn gehecht aan lipiden en eiwitten aan de buitenkant van de cel.



I-2

Daarbij valt met name te denken aan het gedeeltelijk verwijderen van cholesterol uit de membraan zodat de viscositeit afneemt, oxydatieve beschadiging van membraanlipiden – waardoor plaatselijk defecten in de dubbellaag kunnen ontstaan – en het inbrengen van vreemde eiwitten die de lipidenpakking in de dubbellaag verstoren. Tenslotte is het voorstelbaar dat de parasiet de lipidenamenstelling

verandert. Dit laatste aspect is uitgebreid onderzocht. Hoewel niet alle rapporten eensluidend zijn, lijkt het erop dat parasitaire groei alleen invloed heeft op de vetzuursamenstelling van de fosfolipiden. Met name de verandering van de verzadigingsgraad van de vetzuren zou de permeabiliteit van de membraan en de transportcapaciteit van membraaneiwitten kunnen beïnvloeden.

INTERMEZZO I

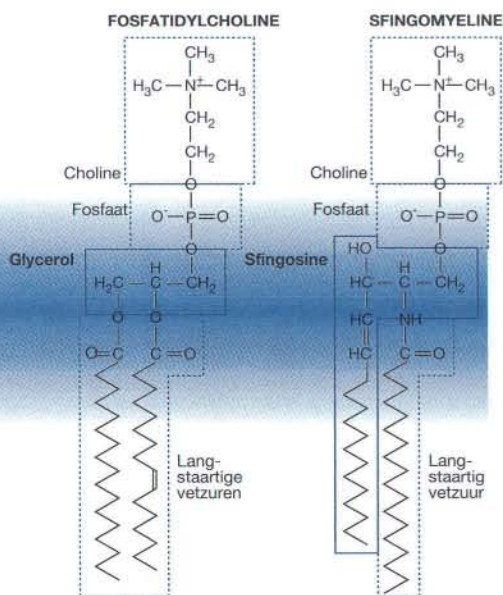
ingenomen door andere chemische verbindingen. Zo treffen we bijvoorbeeld ethanolamine en serine aan in respectievelijk fosfatidylethanolamine en -serine.

Een zelfde vermogen tot het vormen van moleculaire dubbellen in waterig milieu bezit het *sphingomyeline*. Dat is een fosfolipide dat niet van glycerol is afgeleid, maar van het aminoalcohol sphingosine. Het sphingosine-molekuul bestaat uit een apolaire staart en een polaire groep met een amine- en twee hydroxylgroepen. De aminegroep kan via een zogenaamde peptidebinding een vetzuur met een lange keten binden. In sphingomyeline is er aan de eindstandige hydroxylgroep fosforylcholine gebonden, de hydrofiele kopgroep die ook in fosfatidylcholine voorkomt (afb. I-2). Bij de zogenaamde glyco-sphingolipiden is deze polaire kopgroep vervangen door een of meer suikers, die dus zonder tussenkomst van

een fosfaatgroep zijn gebonden aan sphingosine. De glyco-sphingolipiden komen met name voor in plasmamembranen, en dus ook in die van de rode bloedcel. Vooral in geval van meerdere suikers (oligosachariden) kan de kopgroep chemisch zeer complex zijn. Tot de belangrijkste bouwstenen behoren glucose en galactose en het negatief geladen sialzuur.

Ook de vaak verguisde verbinding cholesterol levert een zeer belangrijke bijdrage aan de structuur en de functie van de membraan. Cholesterol komt in bijna dezelfde hoeveelheid voor als de fosfolipiden en speelt een belangrijke rol bij de regeling van de membraanvloeibaarheid.

Overigens bewegen de lipidemolekules zich niet alleen zijwaarts door de membraan. Ze kunnen zich ook van de ene naar de andere helft van de dubbellaag verplaatsen, de zogenaamde transversale mobiliteit. De snelheid waarmee dit zogenaamde *flip-flop*-proces verloopt, hangt sterk af van het soort lipide. Sphingomyeline en glycolipiden ondergaan geen flip-flop, terwijl bij andere lipiden de halfwaardetijden van dit proces kunnen variëren van vele uren voor fosfatidylcholine, via een klein half uur voor fosfatidylethanolamine tot enkele seconden voor cholesterol.



I-2. Fosfolipiden geeft men vaak weer als een hydrofiele kop met twee hydrofobe staarten. De polaire kopgroep bestaat bij fosfatidylcholine uit glycerol, choline en een fosfaatgroep. Twee vetzuren, die via een esterbinding aan het glycerolmolekuul zijn gekoppeld, vormen de hydrofobe staarten. In sphingomyeline bestaat de polaire kopgroep uit een deel van het sphingosinemolekuul, een fos-

faatgroep en de daaraan verbonden cholinegroep. Het sphingosinemolekuul levert ook een van de twee hydrofobe staarten. De andere staart is een vetzuur dat met een peptidebinding aan sphingosine is gekoppeld. Cholesterol is geen fosfolipide. Een hydroxylgroep vormt daar de polaire kop, terwijl het steroïdeskelet en een korte koolwaterstofstaart het hydrofobe deel vormen.

Membraanlipiden

Tijdens de intracellulaire groei van de parasiet neemt het totale lipidengehalte van de rode bloedcel met een factor zes toe. Deze toename is geheel te danken aan het feit dat er grondstof nodig is voor de membranen van de nieuwe parasieten – de opslag van lipiden als reservevoedsel komt nauwelijks voor. Waar komt al dit materiaal vandaan?

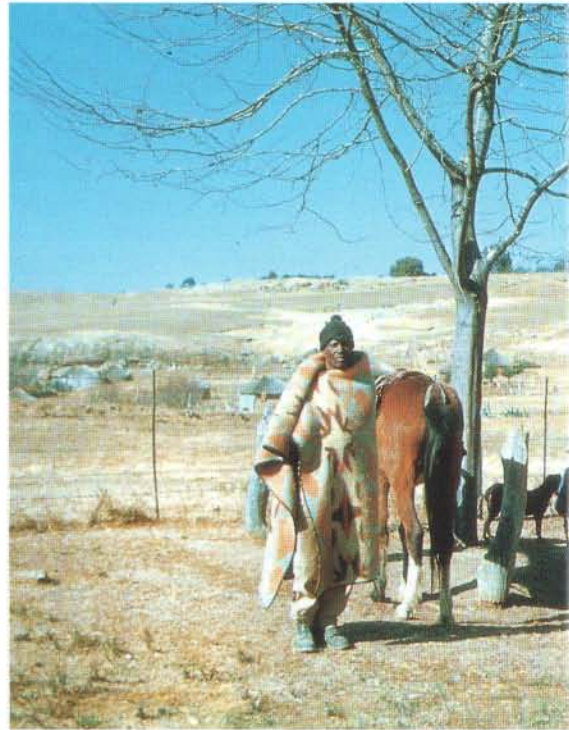
Bij de start van ons onderzoek bleek al snel dat de parasiet de verschillende lipiden geheel zelfstandig kan maken. Er is echter één uitzondering: de parasiet kan zelf geen vetzuren aanmaken. Er moet dus een aanzienlijke hoeveelheid vetzuur in de rode bloedcel worden geïmporteerd.

6. Malaria bedreigt de gezondheid van zowel mensen als dieren. Wereldwijd raken jaarlijks tweehon-

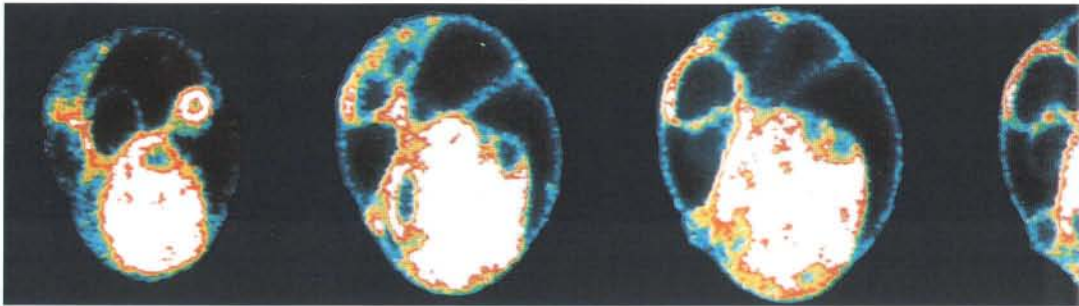
derd miljoen mensen besmet. Daarvan sterven er zo'n twee miljoen aan de ziekte.

7. In een geïnfecteerde rode bloedcel heeft de parasiet fluorescente lipide opgenomen. Een blauwe lijn geeft de membraan

van de rode bloedcel aan. De foto's tonen enkele doorsneden van de bloedcel, met een onderlinge afstand van 0,6 μm .



6



7

Vetzuren zijn afkomstig uit de bloedbaan. Daar bevinden zich vrije vetzuren en tal van lipiden, zoals triglyceriden, cholesterolesters, fosfatidylcholine en lysofosfatidylcholine. Deze zijn voor een groot deel verpakt in lipoproteïnen, ofwel bolvormige deeltjes die bestaan uit eiwitten en lipiden. Laboratoriumexperimenten laten zien dat de geïnfecteerde cel een deel van de lipiden uit zo'n deeltje kan opnemen en verwerken, bijvoorbeeld de lipi-

8. Van de vierhonderd *Anopheles*-soorten, brengen er slechts zestig parasieten over. Vier daarvan voeden zich met mensenbloed. Een malaria-parasiet die knaagdieren infecteert is *Plasmodium berghei*. Afbeelding a toont een rode bloedcel die op het punt staat

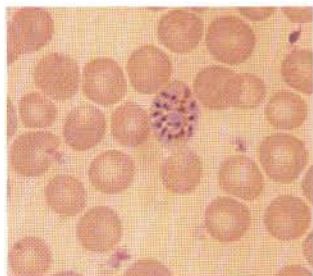
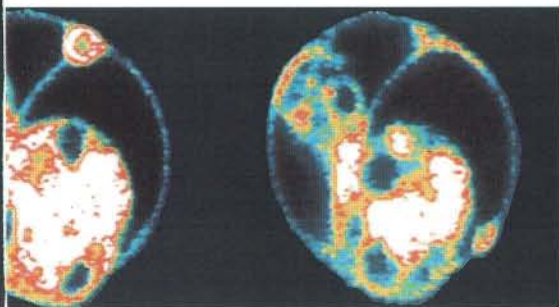
open te barsten, waarbij meer dan tien merozoïeten zullen vrijkomen die zich ongeslachtelijk in andere rode bloedcellen vermeerderen. Er kunnen ook gametocyten ontstaan (b). Die ontwikkelen zich in de middendarm van een muskiet tot baanvormige zygoten (c).



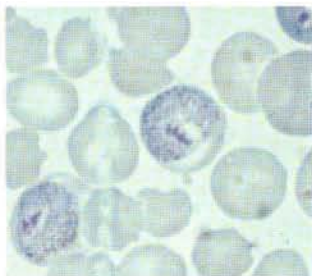
den die aanwezig zijn in *high density lipoprotein* (HDL). Daartoe behoren zowel kant en klare fosfolipiden, direct te gebruiken voor de membraanopbouw, maar ook vrije vetzuren en de zogenaamde lyso-fosfolipiden, glycerofosfolipiden met slechts één vetzuurstaart (zie Intermezzo I). De laatste verbinding ontstaat uit een fosfolipide doordat een enzym, het fosfolipase, daar een vetzuur van afsplitst. Dat vrijgekomen zuur en de opgenomen zuren worden in de geïnfecteerde cel omgezet in het acyl-coenzym-A-complex (Acyl-CoA) waarna inbouw van de vetzuren in de fosfolipiden volgt. Daarnaast kan de parasiet het lysofosfolipide direct gebruiken door het ontbrekende vetzuur er rechtstreeks aan te koppelen. Ook kan de parasiet veranderingen in de polaire kopgroep van de fosfolipiden aanbrengen.

De tweede vraag betreft het transport van de lipiden. Deze in water onoplosbare stoffen moeten vanuit het bloedplasma door de membraan van de rode bloedcel worden vervoerd om bij de parasiet te komen. De verschillende mogelijkheden daarvoor zijn summier samengevat in afbeelding 10. Met verscheidene technieken is gepoogd duidelijkheid te brengen in dit probleem, maar voorlopig zijn de resultaten nog voor diverse uitleg vatbaar en staan nog vele mogelijkheden open.

Door fluorescerende lipiden te gebruiken, kunnen we met een microscoop de transportroute onderzoeken. Een aantal experimenten gaven duidelijke aanwijzingen dat lipiden binnen de rode bloedcel worden vervoerd in de vorm van blaasjes die bestaan uit enkele lipidendubbellen, de membraanvesicles. Onlangs vond men aanwijzingen voor het bestaan van een kanaalachtige structuur in de bloedcelmembraan, waardoor de parasiet een rechtstreeks contact heeft met de buitenwereld.



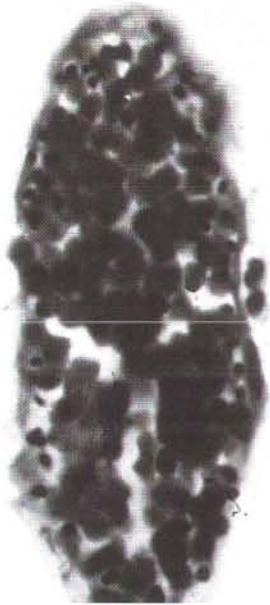
8a



b



c

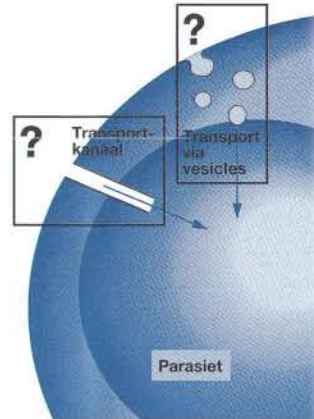


9

Met radioactief gelabelde fosfolipiden is aangetoond dat het invoermechanisme kieskeurig is, welke route het ook neemt. Zo worden bij het aanbieden van de genoemde HDL-partikels, wel de lipiden opgenomen maar niet de eiwitbestanddelen. Als we de geïnfecteerde

9. Bij een patiënt die is gestorven aan cerebrale malaria, is een hersenader verstopt door geïnfecteerde bloedcellen.

10. Het is nog onbekend hoe de parasiet lipiden en vetzuren selectief vergaart. Enkele onderzoekers vonden bewijzen voor een transportkanaal. Andere hypothesen zijn het vetzuurtransport via een vetzuurbindend eiwit en het lipidentransport via een lipide-transfereiwit. Albumine en lipoproteïnen bieden daarbij respectievelijk vetzuren en lipiden aan. Een vierde hypothese gaat uit van lipidentransport via vesicles.



10

Membraaneiwwitten van de rode bloedcel

Ondanks de laterale en transversale dynamiek van de lipidemolekulen, vormt een membraan die uitsluitend uit lipiden is opgebouwd, een vrijwel ondoordringbare barrière voor zelfs de kleinste chemische verbindingen. Een biologisch membraan is daarom voorzien van een zeer grote variëteit aan eiwitten die aan beide zijden van de dubbellaag uitsteken. Deze zogenaamde integrale eiwitten bezitten zeer specifieke transportfuncties. Zo is er een eiwit dat uitsluitend glucose doorlaat, terwijl andere zijn gespecialiseerd in het transport van natrium- of kaliumionen, calciumionen enzovoort.

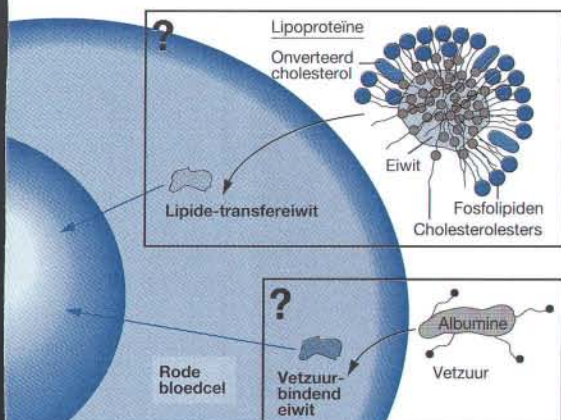
Een belangrijke functie van de rode bloedcel is het transport van zuurstof en koolzuur. Het zogenaamde *band-3-eiwit* zorgt voor het transport van bicarbonaat (HCO₃⁻) door de membraan van de rode bloedcel. Daarbij verplaatsen chloride-ionen zich in de andere richting, zodat er geen ladingsverschil over de membraan ontstaat. Het grote belang van dit anionenkanaal voor de rode bloedcel blijkt wel uit het feit dat dit eiwit bijna een derde van de totale eiwitmassa van de membraan uitmaakt. Net zoals veel andere integrale membraaneiwwitten, is het band-3-eiwit geglycosyleerd: er bevinden zich suikerketens (oligosachariden) aan het deel van het eiwit dat aan de buitenzijde van de cel uit het mem-

braanoppervlak steekt. Eiwitten die oligosachariden-complexen dragen, noemen we glycoproteïnen.

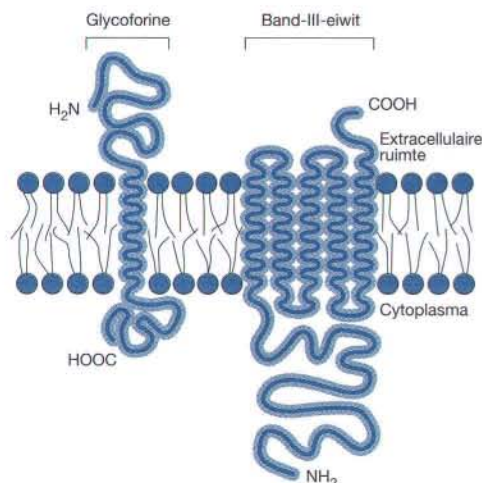
De aminozuurketen van een eiwit met een transportfunctie, is zo gevouwen dat hij een aantal malen de lipidendubbellaag overspant. Op die manier vormt hij een (transport)kanaal door de hydrofobe kern van de membraan. Dit geldt niet voor het zogenaamde glycoforine. Dat eiwit, waarvan we geen transportfunctie kennen, doorsnijdt de membraan van de rode bloedcel slechts eenmaal. Met zestig procent van de totale massa aan oligosachariden, is dit het sterkst geglycosyleerde membraaneiwit dat in de rode bloedcel voorkomt.

De complexe suikerstructuren aan glycolipiden en glycoproteïnen bevinden zich aan de buitenzijde van de celmembraan. Dit feit is zeker niet zonder fysiologisch belang. De suikerstructuren vormen namelijk de *antigene determinanten* van de cel. De typen suikers en daarvan afgeleide verbindingen en de volgorde waarin die in de suikerketens aanwezig zijn, bepalen onder andere de bekende onderverdeling in bloedgroepen. Als er veranderingen optreden in de ingewikkelde suikerketens, waaronder de ketens die aan het eiwit glycoforine zijn gekoppeld, kan het immuunsysteem de cel gaan beschouwen als lichaamsvreemd.

cel fosfolipiden in de vorm van membraanvesicles aanbieden, worden selectief die componenten opgenomen die de parasiet kan gebruiken voor z'n eigen membraansynthese. Ongeveer lipiden in hetzelfde vesicle, blijven steken in de membraan van de rode bloedcel.



INTERMEZZO II



II-1

II-1. In de membraan van de rode bloedcel bevinden zich onder andere de eiwitten glycoforine en het

band-III-eiwit. Aan de buitenkant van de cel kunnen suikerketens aan deze eiwitten zijn gebonden.

De veranderingen die de parasiet noodgedwongen moet aanbrengen in de membraan van zijn gastheercel, zouden de parasiet wel eens fataal kunnen worden. Op allerlei manieren probeert het lichaam om deze veranderingen in de structuur en functie van de membraan op te sporen en te gebruiken om geïnfecteerde cellen te (onder)scheiden van gezonde rode bloedcellen en daarmee de parasiet te doden.

Ook buiten het lichaam worden pogingen gedaan om op basis van de veranderde stofwisseling van de geïnfecteerde rode bloedcel, de parasiet te bestrijden. In één van de meest vergevorderde projecten trachten onderzoekers een anti-malariamiddel te ontwerpen op basis van twee van de hierboven beschreven kenmerken van de geïnfecteerde cel: een verhoogde transportcapaciteit en de behoefte aan bouwstoffen voor fosfolipiden. Het molecuul choline, dat via een specifiek transporteiwit door de membraan van de gastheercel heen beschikbaar wordt gesteld, is nodig voor de aanmaak van fosfatidylcholine. Verbindingen die qua structuur sterk op choline lijken, kunnen deze transportweg blokkeren. Daarmee verlammen ze ook de synthese van fosfatidylcholine, dat onmisbaar is voor de opbouw van de membraan. Mocht deze aanpak resultaat opleveren, dan zal zo'n verbinding een van de eerste anti-malariamiddelen zijn die rechtstreeks voortkomt uit fundamenteel biochemisch onderzoek naar het reilen en zeilen van de malariaparasiet.

Bronvermelding illustraties

World Health Organisation, Geneve. Dept. of Medical Illustration, Liverpool School of Tropical Medicine, Liverpool, UK: pag. 138-139.

Foto: Lennart Nilson. Copyright Boehringer Ingelheim bv, Alkmaar: 1.

Masamichi Aikawa, MD. Case Western Reserve University, Institute of Pathology, Cleveland, VS: 2.

Behringwerke AG, Marburg, D: 3.

Alfred Pasieka, Hilden, D: 4.

SmithKline Beecham Farma, Rijswijk: 6, 9.

Uit: Dr K. Haldar, Stanford University, Lipid Transport in Plasmodium. In: Infectious Agents and Diseases. Proceedings of the Congress on Infectious Agents and Diseases, Vol. 5. Raven Press, in druk, pag. 256, fig. 1: 7.

Dr C.J. Janse. Lab. voor Parasitologie, Rijksuniversiteit Leiden: 8.

Literatuur

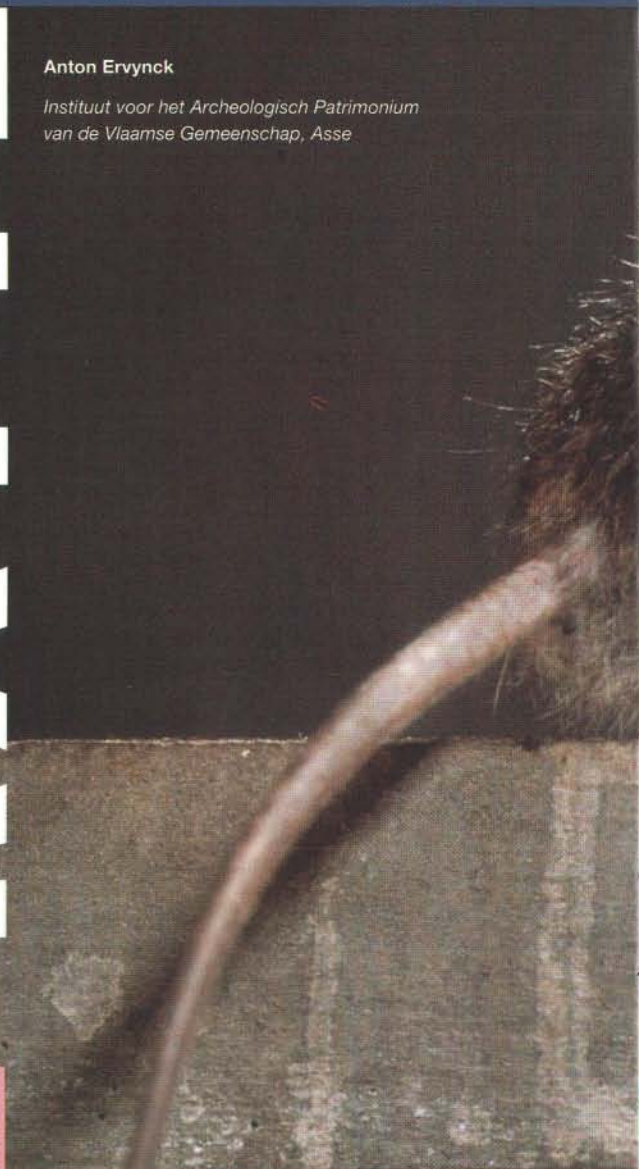
Dick Hoekstra. Biologische membranen – De dynamische dubbellaag. *Natuur & Techniek* 1987; 55: 4, 270-285.

RATTEN

TEKEN VAN

Anton Ervynck

*Instituut voor het Archeologisch Patrimonium
van de Vlaamse Gemeenschap, Asse*



BESCHAVING

Je ziet ze zelden, maar ze zijn er in groten getale: ratten. Sommigen beweren zelfs dat er evenveel ratten als mensen voorkomen. Hierbij doelen ze vooral op het grote aantal bruine ratten dat in onze steden huist. De tweede rattensoort die bij ons leeft, de zwarte rat, is immers vrij zeldzaam. Niet zo lang geleden was deze laatste echter nog zeer algemeen, terwijl de bruine rat totaal onbekend was. Er was zelfs een tijd dat beide soorten in Noordwest-Europa helemaal niet voorkwamen. Vanwaar is die menigte ongewenste knaagdieren dan afkomstig en wanneer zijn ze voor het eerst in onze gewesten signaleerd? Wat is het verschil tussen de geschiedenis van de zwarte en van de bruine rat? Op deze vragen kan alleen paleontologisch en archeologisch onderzoek een goed antwoord geven.



De zwarte rat komt al zo'n tweeduizend jaar in West-Europa voor. Hij is een goede klimmer en voelt zich goed thuis op zolderingen en in landbouwschuren. Door de veranderingen van de menselijke leefomgeving is de zwarte rat zeldzamer geworden. De bruine rat heeft zich daarentegen in enkele honderden jaren massaal verspreid, vooral in onze steden.

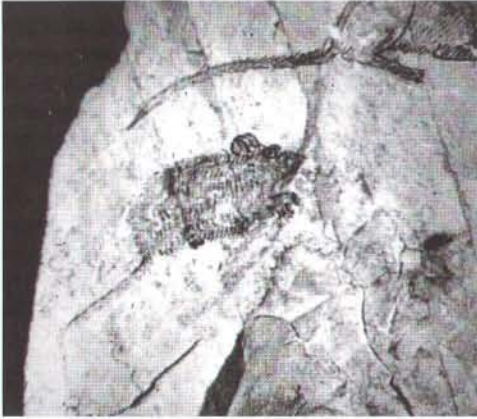
Zwarte en bruine rat leven nu dichtbij de mens, maar dit is niet steeds zo geweest. Waar leefden deze dieren voordat zij zich in de menselijke omgeving gingen ophouden? En waar zijn beide soorten ontstaan? Het antwoord ligt in de paleontologie, in de studie van fossiele beenderen en tanden.

De paleontologie van de rat

De fossielen van de eerste dieren die een beetje op knaagdieren lijken, dateren uit het Paleoceen (65 tot 55 miljoen jaar geleden). Uit deze voorzaten ontwikkelde zich zo'n 25 miljoen jaar geleden een groep van dieren die voor het eerst de titel 'ratten en muizen' mogen dragen. Deze groep vindt zijn oorsprong in Zuidoost-Azië. Ook het geslacht *Rattus*, de echte ratten, zou daar later zijn ontstaan. De fossiele vond-

ten en muizen, maar we beschikken over geen enkele fossiele vondst om de verspreiding te kunnen nagaan. Sterker nog, we vinden heden nergens ter wereld een populatie bruine ratten die geen cultuurvolger is, ofwel een dier dat zich ophoudt in de omgeving van mensen. Nadat het dier bij de mens is gaan wonen, is de populatie die buiten de menselijke invloedssfeer leefde blijkbaar uitgestorven, zonder sporen na te laten. Men denkt dat de oorspronkelijke bruine ratten zich vanuit Zuidoost-Azië in China, Mongolië en Siberië hebben gevestigd. Vanuit die landen hebben ze daarna de zuidelijke steppengordel van de vroegere Sovjetunie gekoloniseerd.

Fossielen tonen slechts de verspreiding van een diersoort in het wild. Bij ons leven de zwarte en de bruine rat echter zeer dicht bij de mens, zonder wie ze zelfs slecht kunnen over-



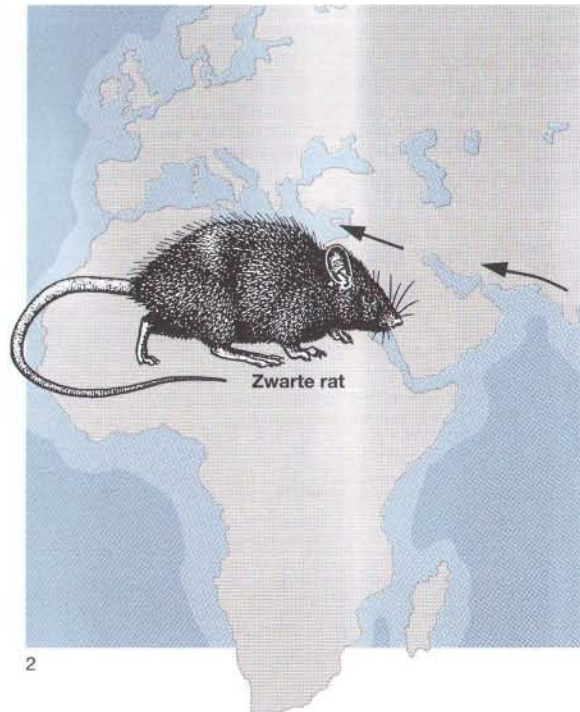
1

1. In een rotswandschildering in Karelië, een gebied bij de Finse golf, kan men een dier herkennen. Of het een rat voorstelt, is moeilijk te zeggen.

2. Het oorsprongsgebied van de rat ligt in Zuidoost-Azië. De wilde zwarte rat heeft zich daarvandaan in alle windrichtingen verspreid. Resten van

sten laten zien, dat vanuit dit oorsprongsgebied deze knaagdieren zich verspreiden via twee routes. Een aantal soorten trok naar de Indonesische en Oceanische eilanden. Een tweede groep, waaronder de zwarte rat, trok westwaarts. Via Birma en Bangladesh bereikte de soort het Indiase subcontinent en zelfs verder westwaarts het Middellandse-Zeegebied. In al deze gebieden komt de zwarte rat nog steeds voor, ook op plaatsen waar geen mensen wonen.

Ook de bruine rat moet in Zuidoost-Azië zijn ontstaan uit de voorouderlijke groep rat-



2

leven. Deze commensale relatie (zie Intermezzo II) moet zijn ontstaan op een bepaald moment, waarop een in het wild levende populatie in contact kwam met de mens. Om deze ontwikkeling te reconstrueren volstaan dus niet alleen fossielen, maar moeten we ook gegevens uit de menselijke context halen. Wat zijn daarbij onze informatiebronnen?

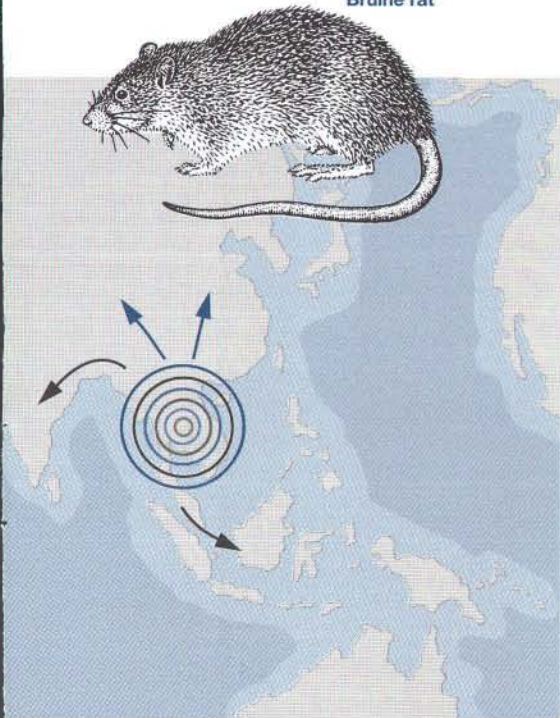
Ratten in woord en afbeelding

Wie de verspreidingsgeschiedenis van een cultuurvolger wil reconstrueren, kan gaan kijken waar en wanneer de soort voor het eerst in teksten opduikt. Dit is voor wat ratten betreft echter vrijwel onmogelijk. De schrijvers van de klassieke teksten hebben het daarin misschien wel over ratten, maar het woordgebruik maakt een soortdeterminatie onmogelijk.

de eerste commensale zwarte ratten heeft men aangetroffen in het Midden-Oosten. De wilde bruine rat verspreidde zich aanvankelijk naar het

noorden en koloniseerde de Russische steppengordel. Ver na de Middeleeuwen treffen we pas de eerste bruine ratten in Europa aan.

Bruine rat



Zowel in het Hebreeuws (*akbar*), het Oud-Grieks als het Latijn (*mus*) heeft men slechts één woord voor alle ratten en muizen samen. Veel klassieke auteurs gebruiken zo'n woord bovendien ook voor tal van andere knaagdieren, voor spitsmuizen en voor kleine roofdieren. Pas in de Middeleeuwen krijgt de rat voor het eerst een eigen naam. Vanaf de 12e eeuw vermelden Latijnse teksten het woord *rattus*, zonder dat daarbij overigens duidelijk is of men het heeft over de zwarte of over de bruine rat.

Ook de speurtocht naar afbeeldingen van ratten op oud beeldmateriaal, biedt weinig uitkomst. De oudste afbeeldingen zijn slecht herkenbaar. De oudst bekende voorstelling van een 'rat' betreft een rotsschildering uit Karelië, die door een fantasierijke onderzoeker als een bruine rat werd geïdentificeerd. Onzes inziens gaat het hier echter eerder om een salamander of een hagedis (afb. 1).

De oudste, realistische weergave van een Europese zwarte rat, hebben we aangetroffen op een schilderij van Jeroen Bosch (1453 - 1516 n.Chr.). Buiten Europa is er één afbeelding, op een Egyptische potscherf die dateert van ongeveer 1150 v.Chr., waarop misschien een zwarte rat herkenbaar is.

Aan de hand van het tekstonderzoek en de studie van beeldmateriaal komen we dus weinig te weten van de rat als cultuurvolger. We kunnen er slechts weinig gegevens uit putten en dan nog enkel uit relatief jonge perioden. Deze situatie verandert drastisch wanneer we ook de bestudering van dierenresten uit archeologische opgravingen in onze beschouwing meenemen. De voordelen van dergelijk onderzoek zijn legio. Ten eerste is het materiaal onuitputtelijk. Elke dag worden er zowat overal ter wereld opgravingen verricht en komen er nieuwe beendercollecties tevoorschijn. Dit maakt dat er botten uit alle delen van de wereld kunnen worden vergaard, die bovendien afkomstig zijn uit alle perioden van de menselijke evolutie. Over teksten kunnen we per definitie slechts beschikken vanaf de historische tijden, vanaf de uitvinding van het schrift dus. Vergeleken met de herkenning van afbeeldingen, geeft het botonderzoek het voordeel dat de identificatie eenduidig is. We kunnen steeds een bot onweerlegbaar aan één bepaalde diersoort toewijzen (zie Intermezzo I). Wat leren ons nu de archeologische vondsten?

De oudste commensale ratten

Behalve een paar twijfelachtige, wellicht slecht gedetermineerde vondsten, zijn er nog nooit ergens bij een Europese opgraving resten van de bruine rat aangetroffen in een context die dateert van voor de 18e eeuw. Tot de 18e eeuw was er slechts één rat die dichtbij de mens leefde en dat was de zwarte rat.

In vindplaatsen die dateren van voor 10 000 v.Chr. hebben archeologen nog nooit de beenderen van commensale ratten aangetroffen. Dat is niet toevallig. Voor die tijd leefde de mens immers van jacht, visvangst en het verzamelen van vruchten of knollen. Hij had nog geen vaste woonplaats. Toen de mens echter landbouw en veeteelt ging bedrijven en zich op vaste plaatsen vestigde, groeide de interesse bij sommige diersoorten. Voor knaagdieren die hun schuwheid overwonnen en de menselijke nederzettingen introkken, waren er heel wat voordelen. Nabij de menselijke woonsteden was er een overvloed aan eten. De mensen

4. Geschrokken staart een zwarte rat de fotograaf aan. De zwarte rat leek een steeds zeldzamer verschijning te worden, maar blijkt nog volop deel uit te maken van onze samenleving.



4



3

3. In een schilderij van Jeroen Bosch, getiteld *De verzoeking van de Heilige Antonius*, is duidelijk een

zwarte rat zichtbaar. Hij was in de 15e eeuw een vertrouwde verschijning voor stedelingen.

Wie is wie?

Dieren uit onze fauna worden vaak als 'ratten' aangeduid, zonder dat we goed weten over welke soorten men het heeft. Zo spreekt men van rioolratten, zwarte ratten, zwerfratten, beverratten, woelratten, bruine ratten, muskusratten, huisratten en dakratten. Hierbij zitten dieren die in biologische zin geen echte ratten zijn, zoals de muskusrat (*Ondatra zibethicus*), de woelrat (*Arvicola terrestris*) en de beverrat (*Myocastor coypus*). In de biologische naamgeving beschouwen we enkel de soorten die behoren tot het geslacht *Rattus* als ratten. In ons deel van de wereld zijn dat de zwarte rat (*Rattus rattus*) en de bruine rat (*Rattus norvegicus*). De zwarte rat noemen we ook wel dakrat of huisrat. De bruine rat duidt men tevens aan als rioolrat of zwerfrat.

De zwarte rat is een goede klimmer die niet graaft. Het dier heeft vrij grote oren en een staart die altijd langer is dan het lichaam. De bruine rat is groter dan de zwarte. Hij is een slechter klimmer maar een goede graver. De oren zijn ten opzichte van de kop kleiner dan bij de zwarte rat en de staart bereikt nooit de lengte van het lichaam.

De zwarte rat en de bruine rat zijn soorten; het zijn geen kleurvarianten van dezelfde soort. De kleur van de vacht is trouwens geen goed criterium om beide dieren te onderscheiden. Van de zwarte rat zijn immers bruine kleurvarianten bekend terwijl



sloegen het zaaigoed op en ze bewaarden meel en gedroogde vruchten. De natuurlijke vijanden van de ratten, kleine roofdieren en roofvogels, waagden zich niet direct in de landbouwdorpen. Bovendien boden de menselijke bouwsels beschutting tegen weer en wind.

De archeologische vondsten laten zien, dat de zwarte rat al vlug de overstap naar het leven bij de mens maakte. De gevonden resten van ratten zijn ongeveer even oud als de eerste landbouwculturen en komen precies uit de streek waar de eerste landbouwers woonden, het huidige Israël en Libanon. Vanuit dit kerngebied verspreidde de landbouwcultuur zich langzaam naar andere delen van de wereld: het Tweestromenland (vanaf 2500 v.Chr.), Turkije (vanaf 1400 v.Chr.), Egypte (na 1000 v.Chr.) en het gebied rond de Zwarte Zee (rond 1000 v.Chr.). Waarschijnlijk arriveerde de zwarte rat vroeger in deze gebieden dan de oudste vondsten aantonen, maar het ontbreekt ons nog aan voldoende opgravingsmateriaal om hierover uitsluitsel te geven.

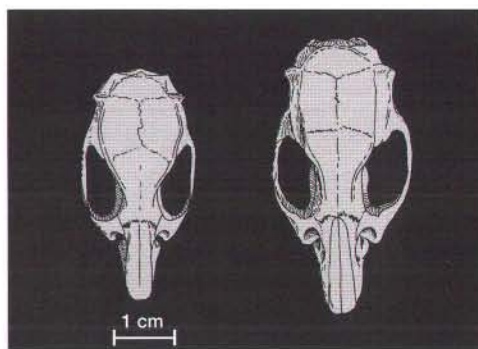
INTERMEZZO I

bruine ratten soms een zwarte vacht hebben. Dat het om twee soorten gaat, wordt bewezen doordat de zwarte en de bruine rat onderling geen nakomelingen kunnen krijgen. De zwarte ratten hebben trouwens 38 chromosomen, terwijl bruine ratten er 42 hebben. Ook het skelet van beide soorten vertoont duidelijke verschillen. Deze verschillen kunnen we het beste herkennen op de schedel en de tanden. Bij paleontologisch onderzoek maken we van deze verschillen dankbaar gebruik.

De witte laboratoriumrat is een gedomesticeerde albino-vorm van de bruine rat. Ook van de zwarte rat zijn albinovormen bekend, maar die zijn nooit op grote schaal gedomesticeerd.



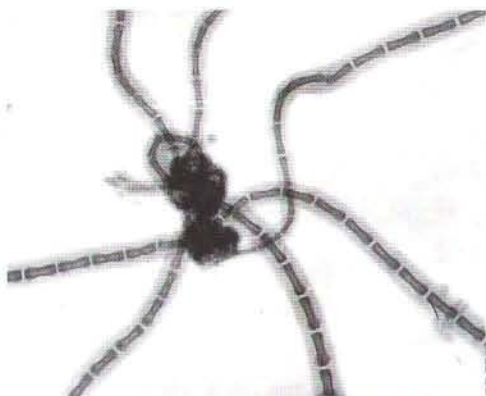
I-1



I-2

I-1. Bij archeologisch onderzoek kan botmateriaal veel nuttige informatie geven. Deze verzameling botjes is afkomstig van de zwarte rat.

II-2. De zwarte rat en de bruine rat behoren tot twee verschillende soorten. De schedels verschillen niet alleen in grootte, maar ook in vorm.



5a

5. De rattenkoning is een zeldzaam verschijnsel, waarvan de eerste meldingen uit de zestiende eeuw dateren. Hij bestaat uit vijf tot zelfs 32, meestal zwarte ratten, waarvan de staarten met elkaar verstrengeld zijn. In 1963 ontdekte een boer in het Noord-Brabantse Rucphen een rattenkoning en doodde de zeven ratten. Een röntgenfoto laat zien hoezeer de staarten verward zijn. Sommige zijn zelfs gebroken.



b

de tweede eeuw, Engeland inpalmden, vinden we ook daar de resten van de zwarte rat, allereerst in de havensteden Londen en York.

In het vroeg-middeleeuwse Europa breidde de zwarte rat gestaag zijn areaal verder uit. Men treft het dier vanaf die tijden dan ook aan in streken die nooit onder Romeinse heerschappij hadden gestaan. Zo koloniseerde de

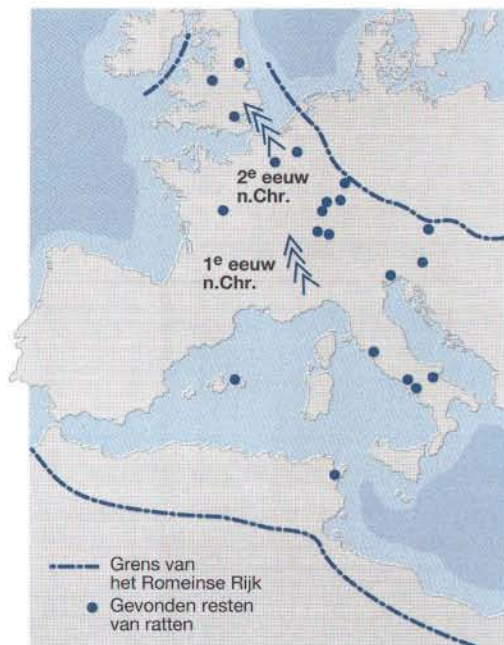
De intocht in onze gewesten

Toen de Romeinen hun rijk uitbouwden, was de zwarte rat door het ganse Middellandse-Zeegebied verspreid. Archeologen hebben zelfs resten van zwarte ratten ontdekt onder de laag as en vulkanisch gesteente die na een vulkaanuitbarsting in 79 n.Chr. de stad Pompeï bedekte. Met de Romeinse legioenen kwam de zwarte rat nu ook voor het eerst in onze gewesten aan. De vroegste vondsten daar, uit Noord-Frankrijk, dateren uit de eerste eeuw na Christus. In de lage landen ontdekten we de oudste resten van zwarte ratten in Romeinse lagen te Tongeren, Den Haag en Valkenburg. Kort nadat de Romeinen, vanaf het begin van

Commensale diersoorten

Ratten die dicht bij de mens leven, duiden we aan als *commensale* dieren. Deze term is afgeleid van de Latijnse woorden *cum* (mee) en *mensa* (tafel) en betekent dus letterlijk 'wie mee aan tafel zit'. Commensale ratten leven inderdaad, in tegenstelling tot hun in het wild voorkomende soortgenoten, op kosten van de mens. Populaties die zich voeden met het afval dat de mens produceert, betekenen nog geen echte verliespost. Rattengroepen die bijvoorbeeld leven van voedselvoorraden of landbouwprodukten zorgen echter vaak voor een beduidende financiële aderlating. In de VS heeft men berekend

zwarte rat zuidelijk Scandinavië, Schotland en Ierland. We kunnen stellen dat het dier na enige eeuwen binnen deze gebieden werkelijk overal aanwezig was. Dat de zwarte rat de landbouwnederzettingen bewoonde, is logisch; het dier dankte tenslotte zijn verspreiding aan de landbouw. De soort vestigde zich echter ook in grote aantallen in de steden.



6

Deze overstap leverde weinig problemen op voor deze rat, want de vroege steden waren nog zeer agrarisch van karakter. We vinden er rogge-akktjes, weiland voor de dieren, er liepen varkens en ganzen in de steegjes en men bewaarde zijn graanvoorraad in huis. Ook in de middeleeuwse havens krioelde het van het ongedierte. De zwarte ratten hielden er huis in de pakhuizen, vooral waar graanvoorraden waren opgeslagen. Aan verdelging viel niet te denken, want met elke scheepslading kwamen nieuwe ratten binnen. *Rattus rattus* was een vaste gast geworden in het ruim van galjoenen, kraken en karvelen: de welbekende scheepsrat. Dit zal natuurlijk zijn verspreiding gunstig hebben beïnvloed, vooral toen de Europeanen over de oceanen trokken.

Een wereldwijde verspreiding

De ontdekking van Amerika in 1492 betekende voor de zwarte rat een nieuwe episode in het succesverhaal van zijn verspreiding. Zonder twijfel waren de dieren op de schepen van Christoffel Columbus aanwezig. Vanuit de Spaanse schepen veroverde de zwarte rat een

6. In tal van Romeinse vestigingsplaatsen heeft men restanten van zwarte ratten aangetroffen, van het Romeinse Carthago in Noord-Afrika tot bij de muur van Hadrianus op de Britse eilanden.

INTERMEZZO II



II-1

dat ratten er elk jaar drie procent van de voedselvoorraden verorberen. Voor bepaalde Derde-Wereldlanden komt men voor alle schadelijke diersoorten samen tot schattingen van vijftig procent.

II-1. In een prent uit 1555 doen zwarte ratten zich te goed aan een hooiberg. In sommige landen zijn ratten nog steeds een ernstige plaag.

nieuw continent. Dat bewijzen de beender-
vondsten in de oudste Spaanse nederzettingen
op de Bahama's, de Antillen en langs de kust
van Florida. Samen met de Europeanen kolo-
niseerde de zwarte rat ook geleidelijk andere
delen van de wereld, zoals Zuid-Amerika en
Australië.

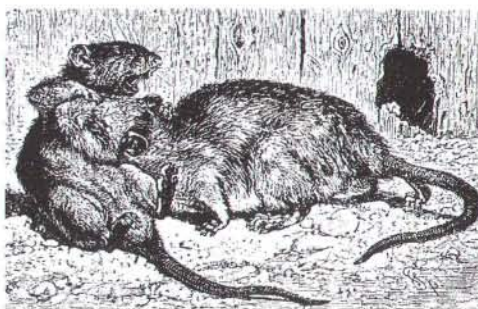
Het enige continent waar de Europeanen
niet verantwoordelijk waren voor de introduc-
tie van de zwarte rat, is Afrika. Eeuwen voor
de blanken zich op hun reizen zover waagden,
was de oostkust van Afrika reeds uitgebreid
door de Arabieren verkend. Steeds verder
zuidwaarts stichtten Arabische handelaars
handelsposten langs de kust en tenslotte be-
reikten ze de zuidpunt van het Afrikaanse con-
tinent. De zwarte rat volgde in hun kielzog. In
de provincie Natal, in het huidige Zuid-Afrika,
heeft men rattenbeenderen gevonden van meer
dan duizend jaar oud. Pas veel later, in de vijf-
tiende eeuw, koloniseerden de dieren samen
met Portugese zeevaarders de westkust van
Afrika.

De verspreiding van de bruine ratten

Van de verspreidingsgeschiedenis van de brui-
ne rat is nog maar zeer weinig bekend. Men
neemt aan dat het dier voor het eerst ergens in
de Aziatische steppengordel bij de mens ging
wonen. Pas in de 18e eeuw kwam de bruine
rat in West-Europa aan. Historische berichten
vermelden dat de eerste bruine rat in 1716 in
Denemarken arriveert, in 1720 in Groot-Brit-
tanië en in 1750 in Duitsland. Erg precies
moeten we deze introductiedata niet nemen,
maar dat er plots aan het begin van de 18e
eeuw op meerdere plaatsen in Europa bruine
ratten worden gesignaleerd, moet iets beteke-
nen. Misschien heeft de opening naar het wes-
ten in het Rusland van de vroege 18e eeuw,
door de bevordering van handelsbetrekkingen
en scheepvaart onder Tsaar Peter de Grote, er
iets mee te maken. Voor die tijd was er geen
graanexport van de Russische steppe naar
West-Europa. Wat dan ook de manier mag
zijn waarop de bruine rat bij ons raakte, hij
heeft het sindsdien in Europa niet slecht
gehad. *Rattus norvegicus* bewoont nu onze
steden, rioolnetten, havens en fabrieksgebou-
wen. Ze is ook op schepen gaan wonen en
heeft zich via zeeroutes verspreid naar haven-
steden in alle werelddelen.



7



8

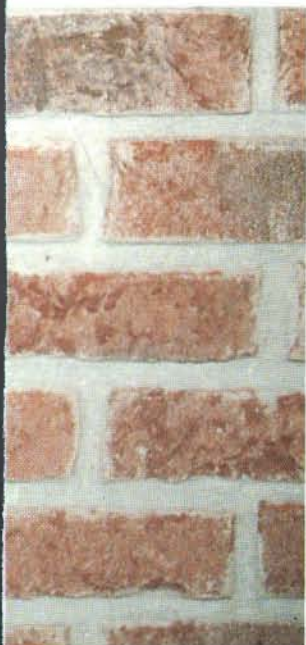
8. Zo stelde men zich in
de 19e eeuw ten onrechte
een strijd tussen de zwarte
en de bruine rat voor.

Het uitzoeken van welk
botje tot welke diersoort
behoorde, kan een tijdro-
vend karwei zijn. Dergelijk
determinatie-onderzoek
leert ons zeer veel over
commensale dieren in
vroegere nederzettingen.

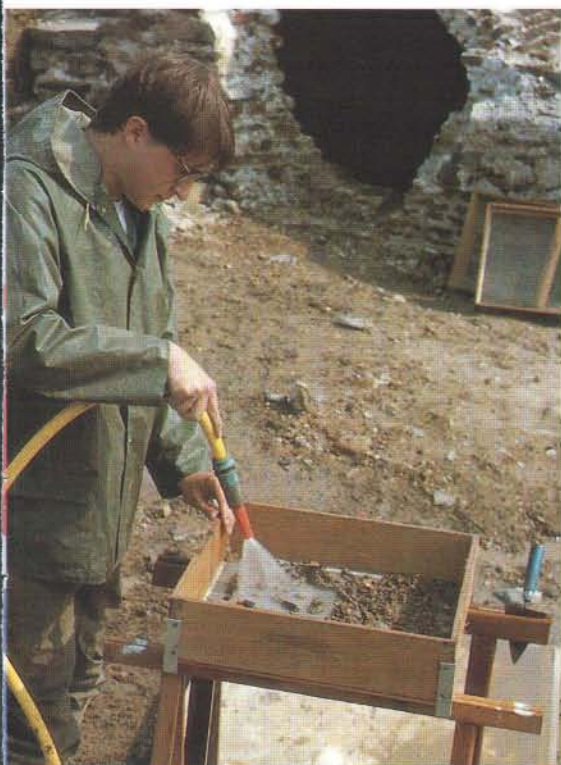
9. Archeologen verzame-
len botmateriaal van klei-
ne dieren met een zeef.

De strijd tussen zwart en bruin

In de Middeleeuwen kwam de zwarte rat zeer
algemeen voor, maar tegenwoordig is hij zeld-
zaam, terwijl de bruine rat welig tiert. In som-
mige verhalen kan men lezen dat de grotere
soort, de bruine rat, de kleinere zwarte rat ac-



7. Bij een klimtest blijkt dat een bruine rat wel degelijk tegen een muur kan klimmen. De zwarte rat is een nog veel betere klimmer.



tief zou hebben verdrongen. Zo verhaalt Selma Lagerlöf in het boek 'Nils Holgerson's wonderbare reizen' van een oorlog tussen de grijze (ofwel bruine) en zwarte ratten. Is er sprake geweest van een moorddadige concurrentie tussen de twee soorten?

Er zijn waarnemingen gedaan, die bewijzen dat zwarte en bruine ratten perfect kunnen samenleven binnen éénzelfde gebouw. Hierbij zijn de zwarte, als goede klimmers, op de zoldering te vinden, terwijl de bruine, als gravers, zich beter thuis voelen in de kelders of de rio-lering. Dat de zwarte rat tegenwoordig zeldzaam is, ligt eerder in veranderingen van de menselijke leefomgeving dan in een bloedige strijd met de bruine rat.

In de 18e en 19e eeuw zijn onze steden steeds minder als agrarisch te bestempelen. De boerderijen ontwikkelen zich tot echte bedrijven. Dit moet voor de zwarte rat een ernstig nadeel hebben betekend. Nieuwe leefomgevingen zoals de riolen bleken voor *Rattus rattus* niet bewoonbaar, terwijl *Rattus norvegicus* er al gauw zijn stek vond. Deze onderaardse vluchtplaatsen maakten de bruine rat ook minder vatbaar voor de steeds intensievere verdelingscampagnes dan de zwarte rat.

Valt daarmee het doek voor de zwarte rat? Uit recente waarnemingen blijkt, dat het dier op bepaalde plaatsen weer in opmars is en dat het zich bijvoorbeeld zeer goed thuisvoelt in moderne pluimveebedrijven. Zoals de dieren eens reageerden op een verandering in de menselijke leefomgeving, bij de overstap van jacht naar landbouw, zullen zij zich ook in de toekomst blijven aanpassen aan het menselijk gedrag. Voorlopig zijn we nog niet van ratten verlost.

Bronvermelding illustraties

Johan De Meester: pag. 150-151, 4.
Ministerie VROM, Hoofdinspectie Milieuhygiëne, afd. Bestrijding van Dierplagen, Wageningen: 5, 7.
De overige afbeeldingen zijn afkomstig van de auteur.

Literatuur

Ervynck A, Meillande V, Van de Walle R. Ratman. Een verhaal van mensen en ratten. Gent: Museum voor Volkskunde, 1991.

ANALYSE & KATALYSE

INTEGRATIE VAN WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE IN DE SAMENLEVING

Onder redactie van ir S. Rozendaal.

SIMON ROZENDAAL

DE MYTHE VAN DE DUITSE

Atoombom

Top secret gesprekken van Duitse kernfysici in gevangenschap

"Unser Chef, der Otto Hahn, spaltet fleissig das Uran." Dat zongen in 1938 de studenten van Otto Hahn op het Kaiser Wilhelm instituut in Berlijn. Hahn had het principe van de kernsplijting ontdekt. Duitsland gaf, vlak voor het uitbreken van de Tweede Wereldoorlog, onmiskenbaar de toon aan in uraan.

Heel begrijpelijk dus dat de uit Europa gevluchte fysici zoals Leo Szilard, Edward Teller, Albert Einstein, Eugene Wigner en Enrico Fermi er bij de Amerikaanse regering-Roosevelt op aandrongen om de atoombom te ontwikkelen. Begrijpelijk ja, maar was de angst dat de Duitsers de atoombom eerder zouden hebben achteraf ook juist?

In de loop van dit jaar verschijnt *Operation 'Epsilon': The Farm Hall transcripts*, een fascinerend historisch document, dat een nieuw licht werpt op deze vraag. Het zijn afgeluisterde gesprekken van gevangengenomen Duitse kernfysici uit 1945, over de vraag waarom de Amerikaanse natuurkundigen wel succes hadden en de Duitse niet. Uit die gesprekken – die pas sinds kort uit de geheimhouding zijn gekomen – blijkt eens te meer dat Duitsland in de Tweede Wereldoorlog ver-

verwijderd was van een atoombom. De Duitsers hebben niet alleen nooit een reactor aan de praat gekregen, ze maakten ook enkele wezenlijke denkfouten. Al had de Tweede Wereldoorlog nog enkele jaren langer geduurd, dan had Duitsland nog steeds geen atoombom gehad. De Duitsers zaten op het verkeerde spoor.

Een kettingreactie op papier

Wat was de stand van de toenmalige natuurkunde? In 1896 ontdekt Henri Becquerel de radioactiviteit van uraan. Hij constateerde dat uraanzouten in een donkere kamer in staat waren een fotografische plaat te zwarten: ze zonden straling uit.

Enkele jaren later wordt vervolgens ingezien dat er verschillende soorten straling zijn: alfa, bèta en gamma. Pierre en Marie Curie ontdekken dat de radioactiviteit van uraanerts uit de mijnen van Bohemen van de elementen polonium (Marie Curie was Pools, ze heette Sklodowska) en radium afkomt.

Dan komen de jaren dertig. Niet alleen roerig op de beurs en de dansvloer, maar ook in het laboratorium. Een waslijst nieuwe ontdekkingen. Chadwick vindt het neutron. Met

dit zware en elektrisch neutrale kerndeeltje is er opeens een projectiel om atoomkernen te bombarderen. Aldus worden diverse nieuwe, kunstmatige en veelal radioactieve, elementen geschapen. In Rome bestraalt Enrico



Fermi tal van elementen, waaronder uraan, met neutronen. Het resultaat bij uraan is echter zo ingewikkeld dat hij er niet wijs uit kan worden.

Vervolgens vinden Otto Hahn en zijn team – Lise Meitner, Otto Frisch, Fritz Strassmann en anderen – dat bij de neutronenbestraling van uraan het element barium ontstaat. Dat is merkwaardig. Je zou elementen verwachten die ongeveer even zwaar zijn als uraan. Barium is echter veel lichter. Hahn en Meitner concluderen terecht dat de uraankern door het bombardement met neutronen is uiteengevallen in kleinere fragmenten. De kernsplijting was ontdekt. In januari 1939 toont Joliot vervolgens aan dat bij de splijting van het uraanaatoom ongeveer drie nieuwe neutro-

nen vrijkomen. Met andere woorden, er kan een kettingreactie ontstaan. Dat idee was al enkele jaren eerder bedacht – waarschijnlijk door Szilard (zie ook *Natuur & Techniek* 1989, pag. 643). Als er bij de splijting van een uraanaatoom met behulp van een neutron

komt, was zo'n kettingreactie op papier geschikt voor explosieven en ook voor de opwekking van elektriciteit.

Dan, september 1939, begint de oorlog. Vanaf nu wordt het voor de diverse partijen moeilijk om te weten wat er precies gebeurt. De geheim-

Al had de Tweede Wereldoorlog nog enkele jaren geduurd, dan had Duitsland nog steeds geen atombom gehad. De Duitsers zaten op het verkeerde spoor

nieuwe neutronen worden gevormd, kunnen daarmee weer nieuwe atomen worden gespleten. Omdat er bij de splijting een beetje massa verdwijnt en dus (volgens $E=mc^2$) ook veel energie vrij-

houding wordt door de Duitsers, zo blijkt uit de afgeluisterde gesprekken op Farm Hall, overigens opgevat als een signaal dat de geallieerden bezig waren met uraan. Maar toch weten ze niet precies wat de Amerikanen en Engelsen doen en vice versa. Er is ook interne geheimhouding. Bij het Amerikaanse Manhattan-project bijvoorbeeld zijn de werkzaamheden in verschillende streng gescheiden onderdelen opgesplitst.

Wat gebeurt er in Amerika? Op 2 december 1942 slaagt Enrico Fermi er in Chicago in een kettingreactie gecontroleerd te bedrijven. Hij ontwerpt een primitieve kernreactor: een stapel grafiert plus uraan. Koelmiddel wordt er niet gebruikt; het doel is slechts het aantonen van de beheersbaarheid en zodra de stapel 'kritisch' is (het aantal neutronen blijft gelijk, de reactie houdt zich in evenwicht), wordt door middel van het inschuiven van cadmiumstaven (die neutronen wegvangen) de reactie weer gestopt.

Vervolgens slaat het Manhattan-project twee wegen in, die allebei naar succes zullen leiden: isotopenscheiding en plutoniumproductie. In na-

Amerikaanse wetenschappers in uniform begonnen op 24 april 1945 met de ontmanteling van de Duitse kernreactor in Haigerloch. (foto: MPG, München)



tuurlijk uraan zit bovenal U-238 en een klein beetje U-235. Slechts de 235-isotoop is splijtbaar. Voor een uraanbom moet het percentage U-235 worden opgevoerd – een proces dat thans bekendstaat als verrijking. Voor dit doel worden in de geheime stad Oak Ridge, Tennessee, grote fabrieken gebouwd. Uiteindelijk lukt het de isotopen op industriële schaal te scheiden met een calutron, een elektromagnetisch apparaat dat op de massaspectrometer is gebaseerd. Pikant detail is dat deze verouderde techniek waarschijnlijk ook door Saddam Hoessein is gebruikt bij zijn pogingen om een Iraakse atoombom te maken. Het is een ingewikkeld en tijdrovend proces. Indicatorennaalden moeten nauwkeurig binnen een be-

235. Genoeg om op 6 augustus 1945 een U-235 bom te hebben, de *Little Boy* die op Hiroshima werd gedropt. De andere aanpak was geënt op de reactor van Fermi. U-238 werd in de reactoren omgezet in plutonium-239. Dat element werd in 1941 (dus tijdens de geheimhouding) ontdekt door de Amerikaan Seaborg. Plutonium was net als U-235 splijtbaar. Op basis van de Fermi-reactor werden diverse reactoren voor de plutoniumproductie gebouwd, vooral in Hanford. Die reactoren gebruikten grafiel of zwaar water als moderator, als afremmer van de neutronen. Zowel in de *Trinity* die in juli 1945 werd getest, als in de *Fat Man* die een maand later op Nagasaki werd geworpen, zat plutonium.



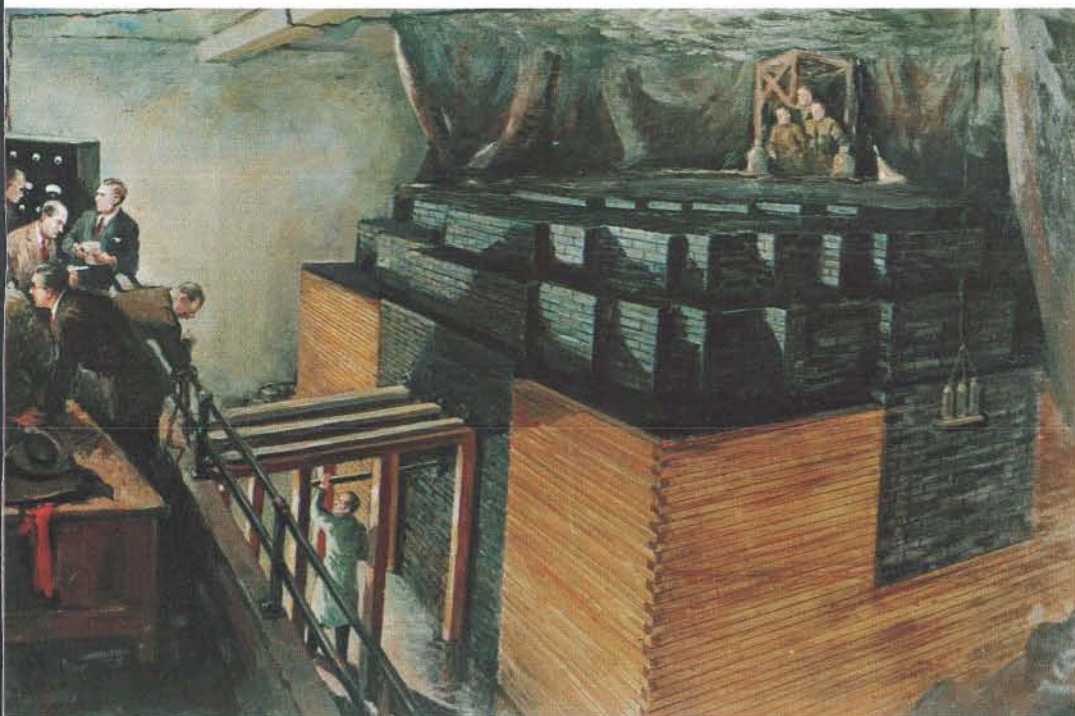
Een schilderij dat is gemaakt voor de *Chicago Tribune* toont hoe in de eerste kernreactor een controlestaaf wordt verwijderd. (Argonne National Laboratory, Illinois)

Tijdens de Oorlog werd voor het Manhattan-project de geheime stad Oak Ridge gebouwd. Alhoewel de stad inmiddels in de atlas voorkomt, is hij beslist niet overal vrij toegankelijk. (foto's: Simon Rozendaal en National Archives, Washington)



paald gebied worden gehouden. Destijds gebeurde dat veelal door vrouwelijke werknemers die geen idee hadden van wat ze precies deden. Per dag produceerden de enorme fabrieken in Oak Ridge enkele grammen U-





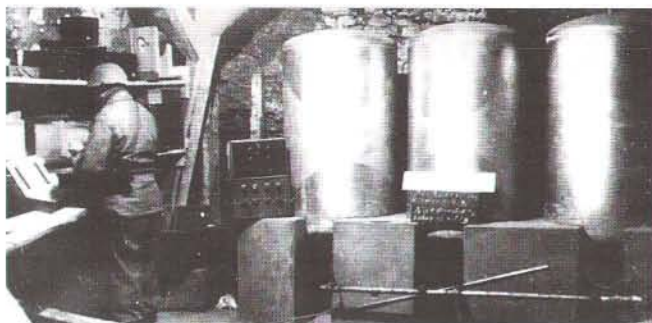
Vraag naar zwaar water

Tot aan het eind van de oorlog zijn wetenschapsmensen als Wigner en Szilard voortdurend benauwd geweest dat president Roosevelt te laat in actie was gekomen en dat de Duitsers eerder een atoombom zouden hebben. Na de oorlog bleek dat de Duitsers ver verwijderd waren van die bom. Duitsland ging de oorlog in met een voorsprong van twee jaar en kwam eruit met een achterstand van vele jaren. Hoe was dat mogelijk? Die mist trekt weer wat meer op met *The Farm Hall transcripts*. Gedurende een groot deel van 1945 werden Duitse kerngeleerden op het landhuis Farm Hall, nabij het Engelse Cambridge, gevangengehouden en afgeluisterd. De Duitsers hadden dit niet in de gaten – ze dachten dat de Engelsen dat soort ‘Gestapo-me-

thoden’ niet toepasten – en praatten vrijuit toen ze hoorden dat de Amerikanen atoombommen hadden en gebruikten. Door de Britse regering zijn de uitgetikte gesprekken altijd als top secret beschouwd en pas in 1992 vrijgegeven. De natuurkundige Jeremy Bernstein heeft ze kunnen inzien en er in *The New York review of books* een uitgebreide beschouwing aan gewijd.

Een interessant detail is overigens dat een Nederlander een hoofdrol heeft gespeeld. Samuel Goudsmit was voor de oorlog naar de VS gevlucht, kende diverse van de Duitse kernfysici goed en sprak, zoals de meeste vooroorlogse Nederlandse natuurwetenschappers, vloeiend Duits. Hij was zelf niet bij het Manhattan-project betrokken – de militaire leiding was heel voorzichtig met Europe-

anen, die ze niet helemaal vertrouwden, ondermeer omdat hun familieleden vaak nog in Duits gebied leefden. Goudsmit werd benoemd als wetenschappelijk hoofd van het Alsos-spionageteam, dat moest proberen om zoveel mogelijk Duitse geleerden uit handen van de Sovjets te houden en uit te horen. Goudsmit (die tijdens zijn werk ontdekte dat zijn beide ouders in een Duits concentratiekamp waren omgekomen) heeft dat goed gedaan. Dat valt ondermeer op te maken uit een afgeluisterd gesprek in Farm Hall. Op een gegeven moment klaagt Werner Heisenberg immers tegen Otto Hahn dat Goudsmit tegen hem had gelogen. Volgens Heisenberg had Goudsmit wel eens mogen vertellen dat de Amerikanen zo ver waren met de ontwikkeling van de atoombom. Wat wisten de geallieerden



vóór Farm Hall van het Duitse militaire uraanproject? In de eerste plaats dat de Duitsers heel erg in zwaar water waren geïnteresseerd. Dat was verontrustend, want zwaar water remt de neutronen die bij kernsplijting ontstaan, zozeer af dat die neutronen nieuwe kernen zouden kunnen splijten. Met zwaar water kon men de kettingreactie dus beheersen en plutonium maken. De angst voor de Duitse bemoeienissen met zwaar water was groot. De Duitsers hadden de zwaarwaterfabriek in Noorwegen in bezit gekregen en die fabriek werd door de geallieerden continu gebombardeerd.

Men wist ook dat de Duitsers bij het uitbreken van de oorlog vóór lagen. Al in augustus 1939 had het Duitse leger een speciaal bureau voor atoomenergie opgezet onder leiding van Kurt Diebner, fysicus en lid van de partij. Men wist dat Duitsland Werner Heisenberg, Carl Friedrich von Weizsacker en Otto Hahn had, drie van 's werelds meest vooraanstaande fysici. Een graadmeter voor de geallieerde visie op de mogelijkheid van een Duitse atombom wordt geboden door Winston Churchill, premier van Engeland in oorlogstijd. In zijn visie vallen twee fasen te onderkennen. In 1939 schrijft Churchill dat hij bang

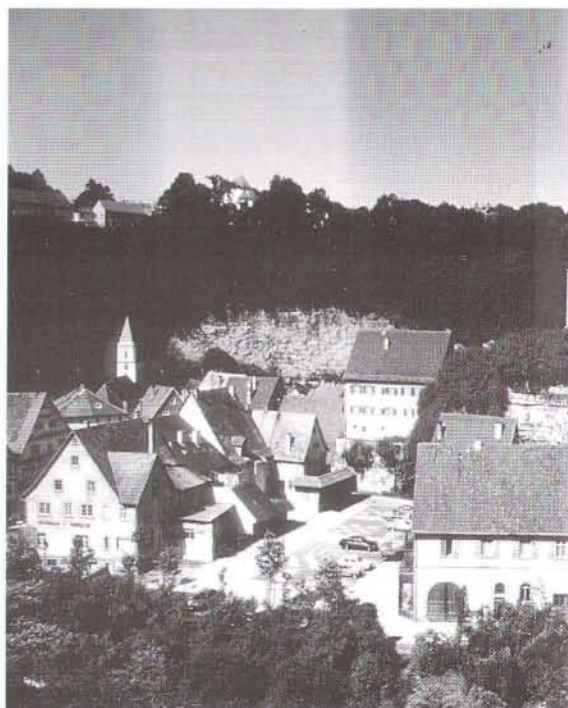
was dat Hitler zou bluffen met een atoomwapen om Chamberlain (toen premier) af te schrikken.

Churchill: "Ik was bang dat Hitler wel eens een poging tot intimidatie zou kunnen doen door iets los te laten over een of ander geheim wapen en dat ons overbelaste kabinet zich daardoor in verwarring en verlegenheid zou laten brengen."

Op 5 augustus 1939 schrijft hij een brief aan een Engelse minister. "Enkele weken geleden kwam een van de zondagsbladen met het sensationele nieuws dat men uit uraan een geweldige hoeveelheid energie zou kunnen vrijmaken door middel van een reeks opeenvolgende reacties, welke men onlangs ontdekt had en die plaatshebben wanneer dit bijzondere soort atomen wordt gesplitst door neutronen. Zo op het eerste gezicht zou dit wel eens kunnen duiden op het ontstaan van nieuwe explosieven met alles-verwoestende uitwerking."

Churchill geeft aan dat maar "een klein bestanddeel van het uraan" (U-235) "de gewenste reactie" tot gevolg heeft en men dit zal moeten produceren – "een zaak van vele jaren". Ook schrijft hij dat de Duitsers maar een

In een diepe tunnel onder de eeuwenoude burcht van Haigerloch, probeerden Duitse wetenschappers een kernreactor kritisch te laten worden. In de 'atoomkelder' stonden grote vaten met zwaar water (boven). De Amerikanen namen het zwaar water en uraan in beslag. (foto's: MPG, München)



beetje uraan – uit Bohemen – tot hun beschikking hebben. “Wegens dit alles is de vrees, dat de nazi’s door deze ontdekking in het bezit zijn gekomen van een nieuw, geheim en noodlottig explosief waarmee zij hun vijanden kunnen vernietigen, klaarblijkelijk van elke grond ontbloot. Stellig zal men in bedekte termen onheilspellende toespelingen maken en paniek trachten te zaaien met een voortdurende fluistercampagne, doch het is te hopen dat niemand zich daardoor van de wijs laat brengen.”

Twee jaar later is Churchill om. Op 20 juni 1941 ontmoeten Roosevelt en Churchill elkaar in Washington om het Engelse en Amerikaanse atoomprogramma te coördineren. Churchill in zijn memoires: “Beiden waren wij ons pijnlijk bewust van de gevaren van nietsdoen. Wij wis-

ten welk een krachtsinspanning de Duitsers zich getroostten om voorraden ‘zwaar water’ aan te leggen – een sinister woord, luguber, onnatuurlijk, dat in onze geheime documenten begon te sluipen. Als de vijand eens eerder dan wij een atombom maakte! Hoe sceptisch men ook tegenover de verzekeringen van geleerden moge staan – verzekeringen, onderling nog zeer betwist en uitgedrukt in een taal, voor leken onbegrijpelijk – wij konden niet het dodelijke risico lopen op dit vreselijke terrein overvleugeld te worden.”

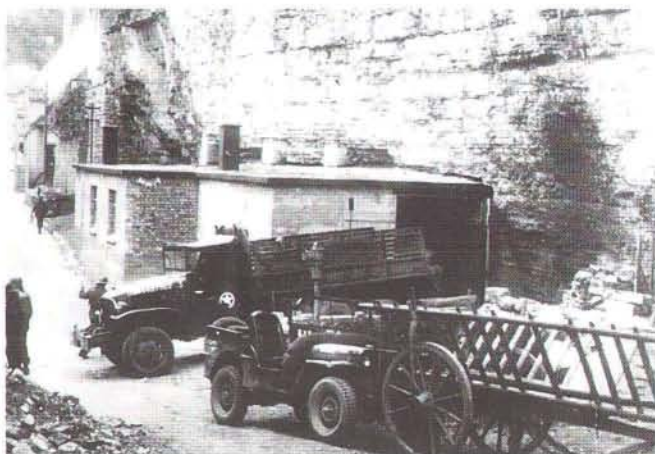
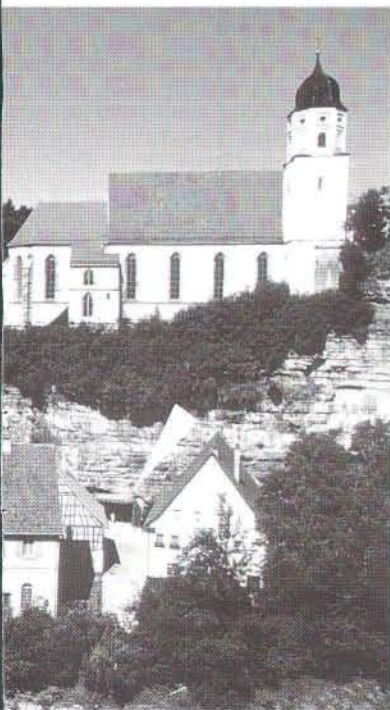
De fout ingegaan

Er zijn diverse punten aan te wijzen waar de Duitse atoomwetenschap de fout is ingegaan. Technisch: ze heeft het belang van isotopenscheiding niet goed ingezien, ze heeft

bom-project, er was te weinig samenwerking en het onbeëindigde rakettenproject V2 kreeg voorrang.

Een ogenschijnlijk onbelangrijk detail was dat de Duitsers meenden dat grafiet neutronen absorbeerde in plaats van afremde. Ze hadden niet in de gaten dat dit probleem zou zijn opgelost als ze extra zuiver grafiet gebruikten. Leo Szilard had de Amerikanen er op geattendeerd dat het waarschijnlijk minuscule verontreinigingen waren die voor de neutronenabsorptie verantwoordelijk waren.

Bij de constructie van 's werelds eerste kernreactor, die van Fermi en Szilard, is dan ook van zeer zuivere grafiet gebruik gemaakt. Een ruimere beschikbaarheid van neutronenremmers, niet alleen zwaar water, had voor de Duitse atoominspanningen veel kunnen uitmaken.



de rol van plutonium verkeerd ingeschat en ze heeft zich niet gerealiseerd dat in plaats van zwaar water grafiet ook had gekund. En politiek: te weinig Duitse geleerden maakten zich à la Szilard en Wigner sterk voor een atoom-

Er waren immers Duitse reactoren die hadden kunnen werken. De reactor van Bopp en Wirtz in Haigerloch bijvoorbeeld maakte gebruik van uraanblokken die in een tank met zwaar water konden worden ondergedompeld. Deze

reactor had echter niet zo'n hoge prioriteit. Bij de verdeling van het schaarse uraan en zwaar water kregen minder goede typen voorrang, bijvoorbeeld omdat er prestigieuze namen zoals Heisenberg aan verbonden waren.

Een interessant taalkundig detail is overigens dat de Duitsers hun reactoren, zo bleek in Farm Hall, consequent motoren noemen. Eigenlijk een heel logische benaming die na de oorlog had kunnen helpen om de nucleaire technologie wat begrijpelijker en misschien acceptabeler te maken voor het grote publiek. 'Reactor' klinkt immers enger, want onbekender, dan het vertrouwde begrip motor.

Hadden de Duitse atoommotoren wel gewerkt, wat dan? Dan nog waren de Duitsers niet snel bij een atoombom gekomen. Ze realiseerden zich immers niet goed dat er in die motoren plutonium ontstond en dat daarmee een betrekkelijk snelle route naar de bom open lag.

Dat blijkt uit de conversatie die tijdens het diner van 6 augustus 1945 op Farm Hall werd gevoerd. Vlak tevoren hebben de Duitsers het nieuws van Hiroshima gehoord. Het '235' waarover de Duitsers het in hun discussie hebben, is de splijtbare uraan-isotoop U-235. '93' is neptu-

nium (element nummer 93), dat onder het uitzenden van straling vervalt tot plutonium-239, element 94.

Hahn: "Ze kunnen het alleen gedaan hebben als ze uraan-isotopenscheiding hebben."

Wirtz: "Dat hebben ze ook."

Hahn: "Ik herinner me het werk van Segre, Muhling en van mijn assistent Grosse; zij hadden voor de oorlog, in 1939, een fractie van een milligram gescheiden."

Laue: "235?"

Hahn: "Ja, 235."

Harteck: "Dat is niet absoluut noodzakelijk. Als ze een uraanmotor laten lopen, kunnen ze 93 afscheiden."

Hahn: "Dan moeten ze een motor hebben die genoeg 93 maakt."

Gerlach: "Als ze dat willen dan moeten ze een ton (uraan) gebruiken."

Hahn: "Een buitengewoon ingewikkelde zaak, voor 93 hebben ze een motor nodig die heel lang loopt..."

Hebben de Duitsers zich nooit gerealiseerd dat het instabiele element nummer 93, neptunium-239, overgaat in element nummer 94, plutonium-239, dat wel handelbaar is? Dat wel. Het inzicht was er wel, maar er werd niet naar gehandeld, bleek uit een vraag van Von Weizsacker.

Von Weizsacker: "Denk je dat het onmogelijk is dat ze in staat waren om element 93

De ontploffing van Little Boy vernielde Hiroshima vrijwel geheel. (foto: US Army Photograph, Washington)



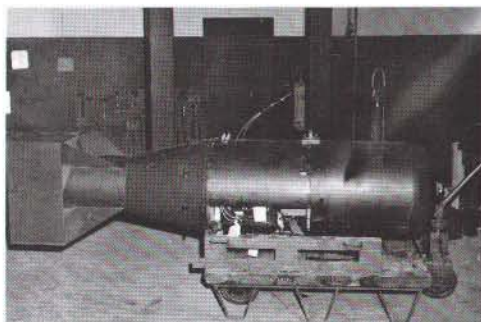
of 94 uit een of meer lopende motoren te krijgen?"

Wirtz: "Ik denk niet dat het erg waarschijnlijk is."

Een verkeerde inschatting

Een pikant detail is dat het Manhattan-project deels was gebaseerd op een optimistische Duitse schatting over de hoeveelheid U-235 die voor een atoombom noodzakelijk zou zijn. Frisch en Peierls schatten die hoeveelheid destijds op 600 gram. Dat was een factor zes tot tien te laag. Die Duitse schatting van 600 gram, die door de Britten en Amerikanen werd overgenomen, bracht het doel van het Manhattan-project dichterbij. Een juiste schatting had kunnen afschrikken.

De Duitsers in Farm Hall tastten in 1945 echter nog



Little Boy, hier vlak voor het inladen in de Enola Gay, was een uraan-235-bom. (foto: National Archives, Washington)



het enige duwtje dat hij nodig heeft om nu wel opeens de juiste berekeningen te maken. Het zegt ook iets over de inzet van de Duitsers. Alsof ze met tegenzin aan de atoombom werkten.

Later in de conversaties blijkt heel duidelijk dat de Duitsers een veel minder hoge prioriteit toekenden aan het nucleaire programma dan de geallieerden. Het V2-programma ging voor. Hitler en zijn kabinet luisterden meer naar Werner von Braun dan naar Werner Heisenberg. De gesprekken bevestigden wat Churchill al schreef: "Zij volgden het verkeerde spoor door het wetenschappelijk onderzoek naar de atoombom te verwaarlozen voor raketten of vliegtuigen zonder piloot ten tijde dat president Roosevelt en ik de beslissingen namen en de gedenkwaardige overeenkomsten sloten die de grootscheepse fabricage van atoombommen betroffen."

steeds in het duister over de benodigde hoeveelheid U-235. Heisenberg: "Ik acht het perfect mogelijk dat ze ongeveer tien ton verrijkt uraan hebben, maar niet dat ze tien ton puur U-235 hebben."

Hahn: "Ik dacht dat je maar heel weinig 235 nodig had."

Heisenberg: "Als ze het maar licht verrijken, kunnen ze een motor bouwen die het doet. Maar daarmee hebben ze nog geen werkend explosief."

Hahn: "Maar als ze, laten we zeggen, 30 kilo puur U-235 zouden hebben, zouden ze daar geen bom mee kunnen maken?"

Heisenberg: "Dat zou nog steeds niet afgaan."

Later begint Heisenberg te twijfelen. Hahn herhaalt enkele uren later zijn vraag.

Heisenberg: "Eerlijk gezegd heb ik het nooit precies bere-

Hitler en zijn kabinet luisterden meer naar Werner von Braun dan naar Werner Heisenberg

kend, aangezien ik nooit geloofde dat je puur 235 in handen zou kunnen krijgen."

Later doet hij een poging om de omvang van een U-235-bom te schatten en komt op een ton uit – een factor veertig te hoog. Een week later meldt hij de berekeningen opnieuw te hebben uitgevoerd en nu op een kritische massa van zestien kilo uit te komen – redelijk dicht in de buurt.

Dit geeft aan dat Heisenberg opmerkelijk deskundig was. De enige informatie immers die hem van buiten af heeft bereikt, is dat de Amerikanen een uraanbom op Hiroshima hebben laten vallen. Dat is

Heisenberg: "Je kunt zeggen dat pas in het voorjaar van 1942 in Duitsland grote bedragen beschikbaar werden gesteld, pas nadat we in die vergadering Rust (minister van onderwijs) hadden overtuigd dat we absoluut bewijs hadden dat het kon."

Von Weizsacker: "Hoeveel mensen werkten er aan V1 en V2?"

Diebner: "Duizenden."

Heisenberg: "Wij zouden niet de morele moed hebben gehad om de regering in het voorjaar van 1942 aan te raden dat ze 120 000 mensen moesten inzetten om het ding te bouwen."

Von Weizsacker: "Ik geloof dat de reden dat we het niet deden was, dat alle fysici het uit principe niet wilden. Als we allemaal hadden gewild dat Duitsland de oorlog zou winnen dan zouden we er in zijn geslaagd."

De motor van de angst

Die opmerking van Von Weizsacker geeft opnieuw aan dat de Duitse fysici met veel minder overtuiging aan de atoombom hebben gewerkt dan de Engelse en Amerikaanse. Dat maakt achteraf de positie van de geleer-

den van het Manhattan-project des te dramatischer. Ze deden het voor een belangrijk deel uit angst voor de Duitse atoombom (plus omdat ze de natuurkunde zelf fascinerend vonden). Die angst was in het licht van die tijd gerechtvaardigd, maar bleek achteraf onterecht.

Zodra de bom er eenmaal was, hadden de geleerden er niets meer over te zeggen. Hoezeer ze ook protesteerden tegen het daadwerkelijk gebruik van de bom, hun rol was voorbij. *Der Mohr hat seine Schuldigkeit getan, der Mohr kann gehen.*

Winston Churchill: "Het historisch feit blijft – en moet ook aldus in de tijden na ons worden beoordeeld – dat de beslissing of de atoombom al dan niet zou worden gebruikt om Japan tot overgave te dwingen, nimmer zelfs maar een kwestie is geweest. Rondom onze tafel was men het unaniem eens, automatisch en zonder dat er vragen werden gesteld."

Operation 'Epsilon': The Farm Hall transcripts worden in de loop van dit jaar gepubliceerd door IOP Publishing, Bristol en zijn afkomstig van het British Public Records Office. ISBN 0 7503 0274 7.

PETER DE JAEGER

DE Valkuilen

VAN DE EPIDEMIOLOGIE

Daan Kromhout, opper-epidemioloog

Er doen heel wat tegenstrijdige berichten de ronde over de relatie tussen voeding en gezondheid. Eerst moest de consument letten op cholesterol. Nu blijkt een laag cholesterolgetal net zo goed riskant te zijn. Het vermeende verband tussen vet en borstkanker wordt bestreden en koffiedrinken kan weer met een gerust hart. De consument weet niet meer waar hij aan toe is en slaat voedingsadviezen in de wind. De Engelse epidemiologen Dawson en Ramsey stelden zelfs onlangs in het *British Medical Journal* dat voedingsvoorlichting zinloos is. "Voedingsvoorlichters moeten eens durven toegeven dat ze vrijwel niets weten over de relatie tussen voeding

en gezondheid", aldus de onderzoekers.

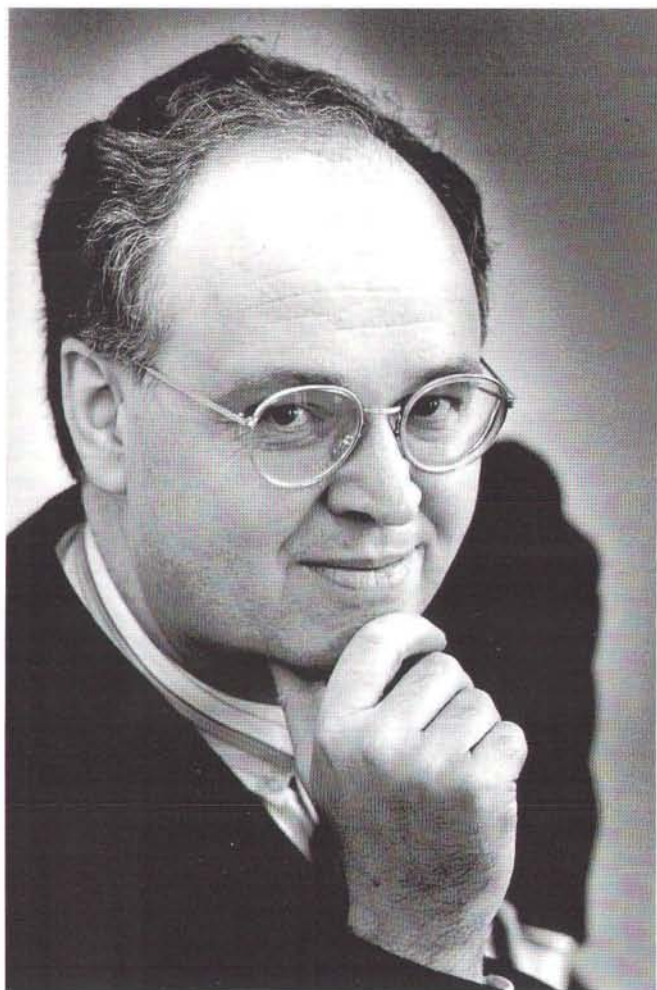
Die conclusie gaat prof dr ir Daan Kromhout te ver. "Als je er onder gecontroleerde omstandigheden in slaagt het voedingspatroon te veranderen, dan heb je wel degelijk profijt. Dat is bewezen, niet alleen in dierproeven, maar

voedingsepidemiologie aan de Rijksuniversiteit Leiden. Hij geeft een voorbeeld. "Als iemand een cholesterolgehalte heeft van zes millimol per liter bloed en zo iemand gaat van de huidige voeding over op veel vezels, veel groente en fruit en weinig verzadigd vet, dan kan zijn cholesterol-

"Een vijftien procent lager cholesterolgehalte levert een dertig procent kleinere kans op een hartinfarct"

ook bij de mens", aldus de directeur van de sector Volksgezondheidsonderzoek van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne en bijzonder hoogleraar in de

gehalte een millimol dalen, dat is ongeveer vijftien procent. Uit diverse studies blijkt dat een een-procents-daling van cholesterol in het bloed is gerelateerd aan een twee-pro-



Prof dr ir Daan Kromhout. (foto: 't Sticht)

cents-daling in incidentie van het hartinfarct. Dus een vijftien procent lager cholesterolgehalte levert in totaal een dertig procent kleinere kans op een hartinfarct."

Toch zijn volgens Kromhout controversen niet te voorkomen, want het komt uiteindelijk aan op verschillende interpretaties van de gegevens. "Statistiek en kansrekening spelen een heel belangrijke rol in de epidemiologie. Soms worden conclusies getrokken

op basis van te weinig aantallen. Dat schept verwarring en leidt tot misverstanden. Te vaak wordt de hele zaak als een hutspot door elkaar geklutst. De kunst van goed epidemiologisch onderzoek is dat de verschillende factoren onafhankelijk van elkaar kunnen worden beoordeeld."

In dat verband bekritiseert Kromhout het gevonden verband tussen een laag cholesterolgehalte en de toenemende kans op zelfmoord, onge-

vallen en geweld. De Amerikaanse onderzoeker M. Muldoon publiceerde de resultaten van zes studies op dat gebied in het *British Medical Journal*. Uit deze studies zou blijken dat personen van wie het cholesterolgehalte werd verlaagd weliswaar minder aan een hartaanval overlijden, maar dat de totale sterfte in deze groep niet verschilt met mensen uit de controlegroep. Kromhout: "Cholesterol heeft alleen maar te maken met het hartinfarct als doodsoorzaak, dat is slechts een kwart van alle sterfte. Om een verband te kunnen leggen met de totale sterfte is een gigantisch onderzoek nodig met 72 000 personen, zo heeft onlangs de Engelse epidemioloog Peto berekend."

"Uit het langlopende onderzoek in het plaatsje Framingham bij Boston blijkt overigens dat een laag cholesterolgehalte, bepaald op jeugdige leeftijd, wel degelijk leidt tot minder sterfte. Hierbij is de bevolking gevolgd vanaf 1948."

Niettemin erkent Kromhout dat er nog veel vragen liggen op het gebied van het cholesterolonderzoek. Kromhout is vooral geïnteresseerd in de invloed van schommelingen van het cholesterolgehalte als risicofactor voor hart- en vaatziekten. "Het lijkt erop dat de gezondheid is gebaat bij een relatief stabiel gehalte", zegt hij.

Interventiestudies

Traditioneel wordt bij epidemiologisch onderzoek jarenlang een groep mensen (een cohort) gevolgd die aan het begin van het onderzoek nog gezond is. Bepaalde risicofactoren, als roken, overmatig drinken en eten van vet voedsel, worden gemeten. Vervolgens wordt gekeken welke



persoon na verloop van tijd ziek wordt en wie niet.

Kromhout: "Probleem bij epidemiologisch onderzoek is het observationele karakter. Je neemt waar wat er bij de mensen aan de hand is zonder de situatie te manipuleren zoals bij een experiment. Dat betekent dat je altijd bedacht moet zijn op de invloed van factoren die je niet onderzoekt. Zo is uit epidemiologisch onderzoek naar voren gekomen dat vis goed is voor je hart. Maar tegelijk is er een verband tussen vis- en alcoholgebruik en alcohol biedt een beschermend effect voor hart- en vaatziekten. Als men nu niet corrigeert voor het gebruik van alcohol dan kan het gunstige effect van vis mischien wel door het effect van alcohol worden verklaard. In zo'n geval kan onderzoek bij niet-drinkers het probleem oplossen."

Soms is er binnen de gevolgde groep onvoldoende spreiding in de risicofactoren. Verbanden zijn dan niet te leggen. "Als ieder een pakje sigaretten daags rookt, kun je het effect tussen roken en longkanker niet aantonen", verduidelijkt Kromhout.

In dat licht is op dit moment ook de vermeende relatie tussen de hoeveelheid vet en borstkanker omstreden. Dat verband was altijd gebaseerd

op dierproeven bij ratten en op een vergelijking van verschillende landen. Maar een groot onderzoek van Willett onder 89 000 verpleegsters

van het Brigham and Women's Hospital in Boston laat geen verband zien tussen vet en borstkanker. De resultaten stonden in oktober 1992 in

Het zou ideaal zijn om epidemiologische onderzoeken te laten beginnen met een (grote) groep zuigelingen. (foto: Benelux Press)

Zuid-Europeanen gebruiken niet alleen veel spijsolie, met daarin veel onverzadigde vetzuren, maar ook verhoudingsgewijs meer vis dan West-Europeanen. (foto: Paul Mellaart)



het *Journal of the American Medical Association*. Acht jaar lang werden de eetgewoonten en de gezondheidstoestand van deze groep via enquêtes bijgehouden. In die periode kregen 1400 vrouwen borstkanker. Echter, er kon geen statistisch verband worden aangetoond tussen het eetgedrag van die groep vrouwen en de vorming van borstkanker. "Niet verwonderlijk", meent Kromhout, "de spreiding in het voorkomen van de vetconsumptie bij de onderzochte verpleegkundigen ligt tussen de 32 en 45 energieprocenten. De studie komt dus bij lange na niet toe aan een groep met vetarme voe-

ding zoals in Japan, met minder dan 25 energieprocenten in hun dieet. In het Westen eet ieder al te veel vet en dus is een vergelijking binnen de onderzochte groep niet mogelijk."

Epidemiologen grijpen in dat geval naar interventiestudies. Hierbij wordt een populatie door het lot verdeeld in twee groepen. De ene groep krijgt een bepaald leefpatroon en een dieet opgelegd, terwijl men de andere groep zijn gang laat gaan. In Amerika loopt nu, met steun van het National Institute of Health, een grote interventiestudie naar de relatie tussen vet en borstkanker. Deze *womens*

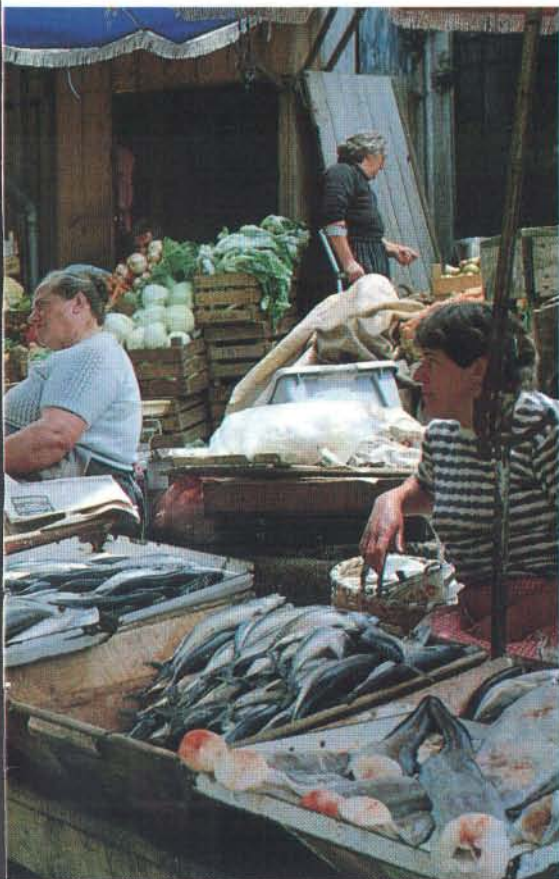
health trial onder 40 000 vrouwen wordt mede opgestart om de gerezen controverse de wereld uit te helpen. In de experimentele groep probeert men de vetinname te verlagen tot minder dan 25 energieprocenten. Het daadwerkelijk effect van verlaging van vetinname op borstkanker weten we pas over tien à vijftien jaar. Overigens staat op dit moment volgens Kromhout de beschermende werking van groente en fruit tegen het ontstaan van kanker veel meer in de belangstelling. Kromhout: "De beschermende invloed van groente en fruit bij kanker is veel sterker dan het negatieve effect van vet."

Interventiestudies kennen ook weer nadelen. Kromhout: "De meeste trials duren niet langer dan een jaar of vijf, terwijl vaak pas na tien jaar significante verschillen kunnen optreden. Maar het is praktisch niet mogelijk om mensen voor tien à vijftien jaar hun leefgewoonten te laten wijzigen. Daarom moet je toch teruggrijpen naar observationeel onderzoek."

Dertienduizend mannen

De Zeven Landen Studie is zo'n onderzoek. Hierbij wordt veel nuttige informatie verkregen door internationale vergelijking van bevolkingsgroepen. Zo komt in Japan en Zuid Europese landen borstkanker veel minder voor dan in de Benelux of de Verenigde Staten. De oorzaak wordt gelegd in het verschil in vetinname.

Dat geldt ook voor de relatie tussen verzadigd vet en het hartinfarct. Kromhout: "De Zeven Landen Studie heeft overduidelijk aangetoond dat je de consumptie van verzadigd vet laag moet houden, want dat leidt tot lage chole-



terolgehalten en minder infarcten. De bevolking rond de Middellandse Zee gebruikt minder dan tien energieprocenten verzadigd vet, terwijl dat in ons land ligt in de orde van 16 à 17 procent. In Zuid-Europa is niet alleen de sterfte aan het hartinfarct veel lager, maar ook de totale sterfte. "Op groepsniveau liggen dus duidelijk verbanden, maar op individueel niveau is nog veel onderzoek nodig."

De Zeven Landen Studie is in 1958 gestart door Ancel Keys om erachter te komen hoe hart- en vaatziekten ontstaan. Later is daar kanker aan toegevoegd. Tussen 1958 en 1964 zijn dertienduizend mannen in zestien plaatsen in Finland, Griekenland, Italië, Japan, Joegoslavië, de Verenigde Staten en Nederland onderzocht. Om de vijf jaar werden de vrijwillige deelnemers door een arts nagekeken en moesten zij vragen beantwoorden over hun levenspatroon en eventuele ziektegeschiedenis. Voor Nederland is de keuze gevallen op Zutphen, daar werden 25 jaar lang 872 mannen gevolgd. Vanaf 1978 staat het onderzoek onder leiding van professor Kromhout. De lichamelijke onderzoeken zijn in

zijn gekozen om de veronderstelling dat cholesterol niet deugt, te onderbouwen. Een andere keuze zou tot een andere conclusie leiden. Dit verwijt, afkomstig uit de zuivelhoek, wijst Kromhout als "absoluut onwaar" van de hand. Kromhout: "Ancel Keys wilde de hypothese toetsen dat consumptie van veel verzadigd vet is gerelateerd aan een hoog risico op een hartinfarct. Hiertoe wilde hij landen met een hoge consumptie van verzadigd vet als de Verenigde Staten en Nederland vergelijken met landen met weinig vetinname in Zuid-Europa. Van de landen rond de Middellandse Zee was bij aanvang van de studie alleen het globale voedingspatroon bekend en niet het aantal hartinfarcten. Van manipulatie is daarom geen sprake."

Een opzienbarend resultaat van de Zeven Landen Studie was, dat mensen die een of twee keer per week vis eten vijftig procent minder kans hebben op het krijgen van hart- en vaatziekten. Sommige voedingskundigen wijten dit effect niet aan de consumptie van vis, maar aan het vervangingseffect. Vis komt in de plaats van vette vlees-

Mensen die een of twee keer per week vis eten, hebben vijftig procent minder kans op hart- en vaatziekten

1990 gestopt, maar de sterftecijfers worden nog steeds verzameld. Er is inmiddels een schat aan informatie beschikbaar. Nog steeds verschijnen er artikelen en onderzoeksrapporten op basis van de verzamelde gegevens. Het onderzoek is steeds meer onderhevig aan kritiek. Critici stellen dat juist deze landen

soorten, luidt de redenering. Kromhout weerlegt dat. "De hoeveelheid vis die hier wordt gegeten, is niet zoveel, gemiddeld ongeveer twintig gram per dag. De viseters eten net zoveel vlees als degenen die geen vis eten. Het effect komt dus niet uit vervanging. Vis heeft duidelijk een beschermende functie."



Dubbeltellen

In Finland, Nederland en Italië, zijn in 1985 de personen die deelnamen aan de Zeven Landen Studie opnieuw onderzocht. Rond 1990 heeft het dertigjaars vervolgonderzoek plaatsgehad. Kromhout: "Met die drie landen gaan we apart verder om te kijken naar verbanden tussen risicofactoren en zaken die van belang zijn op oudere leeftijd, zoals zo lang mogelijk een zelfstandig bestaan kunnen leiden. Hiertoe willen we de verschillende aspecten van gezondheid en de kwaliteit van leven in kaart brengen. Niet alleen lichamelijke, maar ook factoren als eenzaamheid en het aantal sociale contacten nemen we mee. Dat zijn eveneens belangrijke aspecten van een gezond leven. Ook is gekeken naar

Gezond oud worden betekent niet alleen lichamelijk niets mankeren. Geestelijke gezondheid en zelfstandigheid zijn net zo belangrijk. (foto: Theo Audenaard, Hollandse Hoogte, Amsterdam)



de geestelijke gezondheid van mensen op die leeftijd. Hoe zit het bijvoorbeeld met het voorkomen van depressies. Hier is nog niets over bekend, omdat de dataset nog maar net compleet is."

Wel bekend is hoe de mens denkt over zijn eigen gezondheid. Binnen de Zutphen-studie is in 1985 de mannen gevraagd naar hun opvatting over de kwaliteit van hun eigen gezondheidstoestand. Dat kon men aangeven op een vierpuntsschaal. De eigen opvatting blijkt sterk samen te hangen met de mate van overleving na vijf jaar. Mensen die zich niet erg fit voelden, laten een veel hogere sterfte zien. "We dachten, dat komt natuurlijk omdat die mensen vaker ziek zijn. Dat blijkt wel op te gaan voor een hartinfarct, maar niet voor kanker of andere chronische

ziekten. Niet alleen ziekten bepalen dus de gezondheid. Sociale of psychische factoren kunnen hier zeker ook een rol spelen."

"De epidemiologie van psychische ziekten is nog een braakliggend terrein", aldus Kromhout. "We beschikken alleen over de registraties van ziekenhuizen. Maar betrouwbare cijfers die een totaalbeeld geven van de psychische problematiek ontbreken."

Het bestaande cijfermateriaal geeft de epidemioloog geen informatie over bijvoorbeeld het aantal nieuwe ziektegevallen of het aantal patiënten op dit moment. "Dat kan op een eenvoudige manier worden verholpen door op te nemen of iemand voor de eerste keer in het ziekenhuis ligt of dat dat al vaker is gebeurd. Verder dienen dubbeltellin-

gen te worden vermeden. Als je bijvoorbeeld een hartinfarct krijgt, wordt je eerst naar een lokaal ziekenhuis gebracht, maar blijkt het een gecompliceerd infarct, dan wordt de patiënt overgebracht naar het academisch ziekenhuis. In de statistiek komt die persoon dan twee keer voor. Dat soort zaken moet eruit."

Top tien

Onze huidige levensverwachting is heel goed. Een jongetje dat wordt geboren, heeft een levensverwachting van 74 jaar, een meisje van meer dan 80 jaar. Daarmee zitten we in de top tien op wereldniveau. Japanners worden het oudst.

Maar het kan altijd nog beter, meent Kromhout. "Vroegtijdige sterfte kan veel meer worden voorkomen. Van hartinfarct en longkanker kennen we de belangrijkste risicofactoren. Niet roken, weinig vet, af en toe vis, matig alcoholgebruik, genoeg groente en fruit en lichamelijk actief blijven, bieden de beste mogelijkheden om die ziektes te voorkomen."

Ook op latere leeftijd blijft het raadzaam om gezonder te gaan leven. Kromhout: "Als je de 65 eenmaal hebt bereikt, is de resterende levensverwachting voor een man dertien à veertien jaar, en voor een vrouw bijna twintig jaar. Op hogere leeftijd is het zelfs van nog groter belang om gehoor te geven aan voedingsadviezen. Niet omdat ieder de honderd moet halen, maar omdat de mensen zo lang mogelijk zelfstandig willen blijven functioneren en niet afhankelijk willen worden. Om dat doel te bereiken is een gezonde levensstijl van groot belang."

SIMULATICA

Prof dr
H.A. Lauwerier

Muziek uit chaos

Met een gewone huiscomputer kan maar weinig muziek worden gemaakt. Het is eigenlijk verbijsterend dat een computer die in korte tijd ingewikkelde Julia-sets en Mandelbrotpatronen weet af te beelden, op muzikaal gebied niets anders presteert dan een enkel toontje uit een speelgoedmicrofoon. Maar zelfs met die technische beperking kunnen we leuke dingen doen. De computer is ook een toongenerator, die een toon kan produceren waarvan toonhoogte en duur instelbaar zijn. Daartoe beschikt Basic over de SOUND-opdracht. Een bekend klassiek probleem in de muziek betreft de onderlinge afstemming van de instrumenten. Sinds Pythagoras is men er al bezig mee geweest. In de zogenaamde reine of natuurlijke stemming gaat men uit van de drieklank do-mi-sol met verhouding 4:5:6. Daarmee kan dan een toonladder gevormd worden als:

c	d	e	f	g	a	b	c
24	27	30	32	36	40	45	48

Zuivere kwint en kwart corresponderen dan met de verhoudingen $3/2$ en $4/3$. Tussengelegen tonen geven echter problemen. Ter ondervanging daarvan heeft men een soort univer-

sele toonladder met een vaste stemming – de zogenaamde gelijkzwevende stemming – ontworpen, waarin alle halve-toon afstanden onderling gelijk zijn.

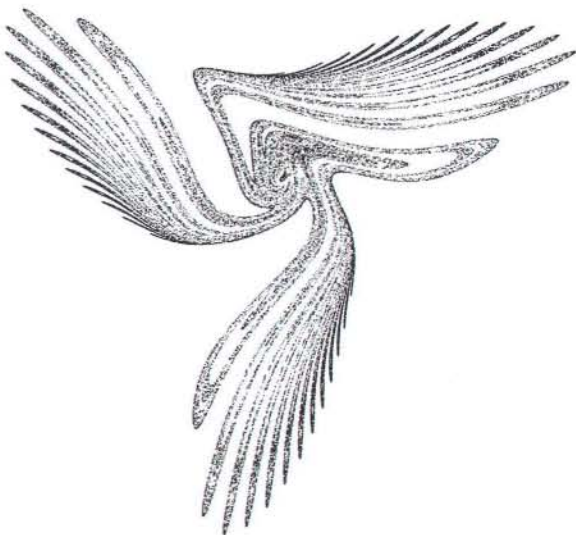
In een octaaf zijn er twaalf van die afstanden, zodat de kleinste stap correspondeert met een frequentieverhouding van $z=2^{(1/12)}$. Voor een kwint op de piano zijn er zeven afstanden. Dat geeft de verhouding z^7 . We constateren dat de waarde 1,498 heel dicht bij 1,5, die van de zuivere kwint, ligt. Iets analoogs geldt voor de kwart. Met de computer zijn we in staat dat niet alleen te berekenen maar ook te horen. Het desbetreffende computereperiment is beschreven in MUZIEK1.

In dat programma laten we een toonladder horen in gelijkzwevende stemming, te beginnen met de a van de stemvork. Bij elke toon plaatsen we voor de belangrijkste intervallen de gelijkzwevende frequentieverhouding en de natuurlijke frequentie naast elkaar. De datalist bevat de frequenties van de zuivere intervallen. We hebben ons daarin beperkt tot de belangrijkste. Voor een interval als een verminderde sext hebben we een 0 genomen, wat inhoudt dat op het scherm daarvoor niets wordt afgedrukt. Na het horen van elke toon laat een wachtlusje het programma

```
REM ***De gelijkzwevende stemming van een octaaf***
REM ***Naam:MUZIEK1***
SCREEN 12
DIM T(12)
DATA 1,0,1.125,1.2,1.25,1.333,0,1.5,0,1.667,0,1.875,2
FOR I=0 TO 12 : READ T(I) : NEXT I
A=440 : Z=2^(1/12) : C=1
FOR K=0 TO 12
  PRINT USING "#####";C;
  IF T(K)<>0 THEN PRINT USING "#####";T(K) ELSE PRINT
  C=C*Z
  SOUND A*C,10
  DELAY 1
NEXT K
END
```

vier tiende seconde wachten voordat de volgend toon wordt gegenereerd. Zo'n wachtlus werkt in alle Basic-versies. Het alternatief is in Turbo Basic een wachtopdracht als DELAY, met een wachttijd van onderdelen van een seconde, en in Q(uick) Basic de opdracht SLEEP, met een wachttijd in een geheel aantal seconden. De SOUND-opdracht kan men ook besturen met behulp van een chaos-programma. In beginsel komt het neer op het berekenen van een reeks toevallige getallen x volgens een of ander dynamisch systeem. We kunnen bijvoorbeeld uitgaan van het bekende iteratieve Verhulstmodel van geremde groei $x \rightarrow ax(1-x)$, waarbij a niet veel van 4 verschilt, maar niet groter dan 4 is. Zoals bekend is de rij x een beetje chaotisch. De getallen x liggen tussen 0 en 1, maar kunnen worden omgewerkt tot gehele getallen die de toonhoogte bepalen. In het programma MUZIEK2 gebruiken we de acht tonen van een octaaf. Zoals we in het programma kunnen zien, is de hoogte van de toon bepaald door het Verhulstmodel en is de duur geheel toevallig volgens de random-numbergenerator van de computer. Een aantal parameters kan men zelf wijzigen. Aanbevolen wordt om te experimenteren met verschillende waarden van a , bijvoorbeeld 3,82 in de buurt van de 1:3-resonantie. De lengte van de melodie hangt af van de beperking van n in de DO ... LOOP-constructie. Ook in de definitie van D zou men veranderingen kunnen aanbrengen. Er zijn heel wat mogelijkheden om te simuleren en 'chaotische' muziek te genereren.

```
REM ***Randommuziek***
REM ***Naam:MUZIEK2***
SCREEN 12 : CLS
RANDOMIZE 11
A=3.89 'Parameter van het Verhulstmodel
DIM FR(8)
DATA 523.25,587.33,659.26,698.46
DATA 783.99,880.987,77,1046.5
FOR I=1 TO 8 : READ FR(I) : NEXT I
N=0 : X=.1 'start
DO WHILE INKEY$="" AND N<100
  X=A*X*(1-X)
  D=2+INT(4*RND)
  S=INT(8*X)+1
  SOUND FR(S),D
  N=N+1
LOOP
END
```



```
REM ***Fractale muziek gegenereerd door een***
REM ***chaotische baan van het Mira-systeem***
REM ***Naam:MIRAMUS***
SCREEN 12
WINDOW (-8,-6)-(8,6)
A=.3 : B=.999 : C=2-2*A
Q=2^(1/12) : X=0 : Y=1
LOCATE 1,1 : PRINT"Druk toets voor einde"
W=A*X+C*X*X/(1+X*X)
DO WHILE INKEY$=""
  IF N>100 THEN PSET (X,Y)
  Z=X : X=B*Y+W : U=X*X
  W=A*X+C*U/(1+U) : Y=W-Z
  S=SQR(X*X+Y*Y) : T=INT(30*S/(S+1))
  SOUND Q^T*416,2
  PSET (X,Y)
  N=N+1
LOOP : A$=INPUT$(1)
END
```

De Franse onderzoeker Christian Mira bedacht een vorm van 'esthetische chaos' die doet denken aan drie vogelvleugels. De wiskunde die hij daarbij benutte, is ook zeer bruikbaar bij het verkrijgen van chaotische muziek.

Oplossing november

In november wreef de professor z'n oliepeilstok schoon. De flexibele stok raakte in trilling en de oliespatten aan het uiteinde van de stok belandden op de broek van de professor. Om dit verschijnsel te verklaren, beschouwen we de peilstok als een veer met een veerconstante C . Bij kleine uitwijkingen treedt een harmonische trilling op. Voor de beweging van het uiteinde van de peilstok geldt dan $x(t) = x_0 \cdot \sin(\omega t)$. De bijbehorende versnelling is $a(t) = -\omega^2 x_0 \cdot \sin(\omega t)$. De maximale versnelling die het uiteinde, op een afstand l van het handvat, ondervindt is dan:

$$a_{\max} = \omega^2 x_0 = \frac{C}{m} \cdot x_0 = \frac{C}{\rho l} \cdot x_0.$$

Als de veerconstante C is, volgt dat de kracht die nodig is voor een uitwijking x overeenkomt met $C \cdot x$. De arbeid die nodig is om een uitwijking x_0 te geven, is $E = \int_0^{x_0} C \cdot x dx = \frac{1}{2} C \cdot x_0^2$. Veronderstel nu dat bij het afwrijven de energie E behouden blijft, dan volgt uit de vorige twee vergelijkingen dat

$$a_{\max} = \frac{C}{\rho l} \sqrt{\frac{2E}{C}} = \sqrt{\frac{2E}{\rho}} \cdot \frac{\sqrt{C}}{l}.$$

Bij een kleinere l zal C toenemen. De maximale versnelling aan het uiteinde zal dus ook toenemen bij kleinere l . De olie druppel aan het uiteinde onder-

vindt twee krachten. De ene is de adhesiekracht tussen de druppel en het materiaal van de peilstok en de andere is de kracht ten gevolge van de versnelling. Op een gegeven moment is de adhesie niet meer voldoende en zal de olie druppel van de peilstok loslaten.

Deze maand gaat de ladderprijs, een jaarabonnement op Natuur & Techniek, naar J.Th.M. Bol uit Leiden. Sébastien Dehaene uit Brugge bleek bij loting deze maand de gelukkige winnaar te zijn van de lootprijs, een boek naar keuze uit de Wetenschappelijke Bibliotheek van Natuur & Techniek.

De nieuwe opgave

Op een regenloze zaterdag stapt de professor met zonnig humeur de deur uit. Het is een heerlijke

dag om in de vrije natuur door te brengen. De professor wandelt de heide op en maakt z'n camera gereed. Vandaag wil hij wat mooie foto's van insecten en vogels

maken. Hij zet een 200-mm-lens op het toestel en klapt het statief uit. Nu moet hij goed rondkijken naar een dankbaar onderwerp. Als de lens op een tak is gericht, ziet de professor een rups op zich afkomen. Snel probeert hij de camera scherp te stellen, maar voordat hem dat lukt is de rups al te dicht genaderd. Hoe zat dat toch ook al weer met die lenzenformule, vraagt de professor zich af. Stel dat een lichtbron L naar een lens toe beweegt, langs de hoofdas en met een snelheid van $1,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. De lens vormt een beeld B . Als op tijdstip nul B ten opzichte van L juist in rust is, hoe groot zal dan de snelheid van B ten opzichte van L zijn na twee seconden?

De Stichting Natuurkunde Olympiade Nederland heeft deze opgave verstrekt aan Natuur & Techniek. Inzendingen moeten 10 maart 1993 zijn ontvangen door de puzzelredactie van Natuur & Techniek, Postbus 415, 6200 AK Maastricht.



VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Trein en laser

Ir C. Smorenburg
Ing R.L. Woerde

De bovenleidingen die de elektrische treinen van stroom voorzien, zijn aan slijtage onderhevig. Controle blijft noodzakelijk, maar het verouderde systeem van 'de onderhoudsmonteur op de ladder' zal worden vervangen door een high-techoplossing: een optisch meetsysteem.



Ecoreceptoren Gist

Dr N.M. van Straalen

Drs Q.J.M. van der Aart en dr ir H.Y. Steensma

De enorme invloed van vreemde verbindingen op de natuur heeft tot gevolg dat veel planten en dieren in het gedrang komen. De ecotoxicologie onderzoekt waarom het ene dier dreigt uit te sterven, terwijl het andere dier er in slaagt te overleven en een derde zich zelfs kan uitbreiden.

In mei 1992 publiceerde het Engelse tijdschrift *Nature* een artikel van 147 auteurs. Zij beschreven hoe voor het eerst de com-

plete genetische informatie van een eukaryoot chromosoom was opgehelderd, namelijk chromosoom III van bakkersgist.

KIJK OP WETENSCHAP

Zwaartekracht



De algemene relativiteitstheorie is de beste zwaartekrachtstheorie die we hebben. De theorie is het resultaat van het inzicht van een Duitse natuurkundige in 1915. Vijftig jaar later verklaarde de theorie de bizarre eigenschappen van zwarte gaten, pulsars en quasars.

Elektronenmicroscopie

Ir J.E. van den Enk

Beelden zijn een uitstekend medium om samenhangende informatie te presenteren. De mens is namelijk zeer vaardig in het snel verwerken van beel-

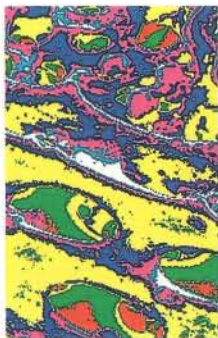
den. Het gebruik van gedigitaliseerde beelden in een computer maakt het mogelijk de beelden te bewerken, informatie te extraheren en/of te koppelen en het resultaat prettig te presenteren.

Bloemvorming

Dr A.J. van Tunen en
dr ir G. Angenent

Onze kennis omtrent de processen die bloemorgaanvorming reguleren, was lange tijd gering. Recentelijk kan via genetische modifi-

catie de vorming van bloemorganen voorkomen of veranderd worden. De consequenties van deze nieuwe kennis voor verder onderzoek en de veredeling van siergewassen zullen groot zijn.



Het Trainingscentrum Medische Biotechnologie organiseert in samenwerking met Prof. Dr. P.J.A. Capel op 25 en 26 maart 1993 het tweedaagse seminar:

"Immunologie, balans tussen agressie en tolerantie"

Donderdag 25 maart 1993, 9.00 - 21.45

Opening

Prof.Dr.P.J.A. Capel (RUU, Utrecht)

Immunologie, a Bird's eye's view

Dr.F.H.J. Gmelig Meyling (RUU, Utrecht)

Adhesie en cel-interactie

Dr. C.G. Figdor (NKI, Amsterdam)

Fagocyten

Dr.J.G.J. van de Winkel (RUU, Utrecht)

MHC en antigeen presentatie

Prof.Dr.P.J.A. Capel (RUU, Utrecht)

Genetische basis van antigeenspecifieke receptoren

Prof.Dr.J.J.M. van Dongen (EUR, Rotterdam)

Tolerantie

Prof. Dr. P.J.A. Capel (RUU, Utrecht)

Immuunhistologie en immuunregulatie

Prof.Dr.W. van Ewijk (EUR, Rotterdam)

Interleukinen

Prof.Dr.J.W.M. van der Meer (KUN, Nijmegen)

Tumor immunologie en Immunotherapie

Prof.Dr.C.J.M. Melief (RUL, Leiden)

Voor meer informatie kunt u nevenstaande antwoordstrook in een ongefrankeerde envelop opsturen naar:
Hogeschool West-Brabant
Sect.Lab. Onderwijs/ TMB
t.a.v. Mevr. N. Munnik
Antwoordnummer 47
4870 VB ETTEN-LEUR
tel: 01608 -14021
fax: 01608-33875

Vrijdag 26 maart 1993, 9.00 - 16.45

NK cellen en cytotoxie

Dr. E. Braakman (EUR, Rotterdam)

Complement

Prof. Dr. M. Daha (RUL, Leiden)

Auto-immuniteit en bacteriële antigenen

Dr.W. van Eden (RUU, Utrecht)

Endocriene auto-immuunziekten

Dr.H.A. Drexhage (EUR, Rotterdam)

Allergie en T-cellen

Dr.M.L. Kapsenberg (AMC, Amsterdam)

AIDS

Dr.F. Miedema (CLB, Amsterdam)

Transplantatie immunologie

Prof.Dr.J.H.M. Berden (KUN, Nijmegen)

Data en plaats

Donderdag 25 en vrijdag 26 maart 1993,
Hotel Bosschenhoofd, Past. v. Breugelstraat 45,
te Bosschenhoofd; tel 01652-14900.

■ Ik ontvang gaarne nadere informatie over het seminar (05)

■ Stuur mij informatie over andere TMB-cursussen

Naam:

Adres:

Plaats:

Bedrijf naam:

Afd:

Tel/Fax :